

**ESCOLA NAVAL**  
**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE MARINHA**



**Modelação de engodos antimíssil com recurso ao**  
***Ship Air Defence Model (SADM)***

**Rita Carvalho Spínola da Silveira Ramos**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS CLASSE DE**  
**MARINHA**

2013

**NÃO CLASSIFICADO**



**ESCOLA NAVAL**

**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE MARINHA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES  
NAVAIS**

**Modelação de engodos antimíssil com recurso ao  
*Ship Air Defence Model (SADM)***

O Mestrando,  
*(assinado no original)*

---

ASPOF M Silveira Ramos

O Coorientador,  
*(assinado no original)*

---

CFR M José Isabel

O Orientador,  
*(assinado no original)*

---

CTEN M Cruz Rafael

**NÃO CLASSIFICADO**





*“Try and leave this world a little better than you  
found it and when your turn comes to die, you can  
die happy in feeling that at any rate you have not  
wasted your time but have done your best”*

- Lord Baden-Powell

Fundador do Escotismo

“Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes”

- Ricardo Reis

Heterónimo de Fernando Pessoa





## Agradecimentos

A elaboração desta dissertação de mestrado contou com importantes e preciosos apoios e incentivos, sem os quais não teria sido possível a sua realização.

Gostaria, portanto, de agradecer:

- À minha mãe, por ser um modelo de coragem, pelo apoio incondicional, compreensão e estímulo motivacional demonstrados sempre que foi necessário;
- Ao meu orientador, Comandante Cruz Rafael, por todo o apoio, disponibilidade, prestabilidade e entusiasmo pela área em questão, demonstrados em resposta a qualquer solicitação da minha parte;
- Aos Aspirantes do Curso Padre Fernando Oliveira, pela entreajuda, colaboração e amizade, presentes em todos os momentos, bons e menos bons, durante a permanência na Escola Naval;
- Aos 2TEN Amaral Pessoa, 2TEN Buinho Menúrias e 2TEN Borges Mendes, pela prestabilidade e colaboração, sem as quais o processo de elaboração desta dissertação teria sido mais custoso e moroso;
- Ao Comandante, oficiais e guarnição do N.R.P. "Corte - Real", que aquando do estágio de embarque e simultaneamente do processo de elaboração da dissertação, sempre me apoiaram, dando-me condições para a elaboração da mesma;
- A todos os escoteiros e chefes que pertencem, ou já pertenceram ao Grupo 11 de Odiveiras da Associação dos Escoteiros de Portugal, por nunca terem deixado de acreditar em mim, pelo apoio e compreensão demonstrados ao longo da minha vida, e especialmente desde o ingresso na Escola Naval;
- A todos os que, de alguma forma, tenham contribuído para a elaboração deste trabalho e não sejam, por esquecimento meu, aqui mencionados.







## Resumo

À semelhança de Marinhas de diversos países, a Marinha Portuguesa (MP) aderiu à utilização da simulação para estudar a adequabilidade, a eficácia e a eficiência dos sistemas de armas e sensores dos navios, tendo, em 2006, adquirido o *software* de simulação SADM - *Ship Air Defence Model*.

Esta dissertação tem como objetivo a utilização do referido *software* de simulação, na modelação dos engodos antimíssil em uso na MP. Segue-se então a validação dos modelos, que passará pelo confronto dos resultados reais *vs.* resultados simulados, o que permitirá aferir a fiabilidade do modelo ou a possível deteção de alguma lacuna existente. Depois de validados, os modelos serão utilizados na simulação, análise e desenvolvimento de técnicas de defesa antimíssil, com recurso a medidas de *softkill*.

Assim sendo, este trabalho inicia com uma breve explicação relativa ao funcionamento de alguns tipos de mísseis antinavio contemporâneos, bem como uma abordagem descritiva dos sistemas de defesa antimíssil *softkill*, isto é, sem recurso à destruição física do míssil, existentes nos navios das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”. Segue-se a descrição das vantagens e desvantagens da simulação, segundo vários autores, e a apresentação do modo de funcionamento do SADM. Definido o modo de funcionamento do *software*, é então abordada a parametrização dos modelos, isto é, são referenciados quais os dados (parâmetros) introduzidos, de modo a obter um modelo dos engodos. Seguidamente são apresentados alguns cenários, onde é testada, com o auxílio da simulação, a utilização de engodos antimíssil, nomeadamente a confirmação da sua efetividade. Por fim, apresentam-se as conclusões, que respondem à questão do trabalho, abordando também a comparação entre os resultados obtidos através das simulações em SADM e os resultados reais dos EW *Trials*, constantes dos respetivos relatórios.

**Palavras-chave:** Simulação, Modelação, SADM, Mísseis, Engodos, *Chaff*, ASMD.





## Abstract

Similarly to navies from other countries, the Portuguese Navy has been using modelling and simulation (M&S) to study the effectiveness and efficiency of weapon systems and ships' sensors, since 2006, when the simulation software SADM - Ship Air Defence Model - was acquired.

This paper aims to use SADM in the modelling of missile decoys used by the Portuguese Navy. The models' validation will pass through the confrontation of real results with simulated results, which will assess the reliability of the model or the detection of any possible gap. Once validated, the models will be used in the simulation, analysis and development of techniques for missile defence, using softkill measures (systems that don't involve the physical destruction of the missile).

Therefore, this paper begins with a brief explanation about the operation of some missile types, as well as a descriptive approach of softkill systems existing on "Vasco da Gama" and "Bartolomeu Dias" class frigates. Afterwards, there is a discussion on simulation's advantages and disadvantages, according to several authors, and the presentation of the SADM operation. Next, is presented the data input featuring the kind of scenario that is intended to build. There are also some scenarios starring the use of anti-missile decoys, with the aid of the simulation, which include a confirmation of its effectiveness. Finally, some conclusions were drawn, based on the comparison between the results obtained through simulations SADM and actual results of EW Trials.

**Key-words:** Simulation, Modelling, SADM, Missiles, Decoys, *Chaff*, ASMD.





## Índice

Epígrafe .....	v
Agradecimentos .....	vii
Resumo .....	ix
Abstract.....	xi
Índice .....	xiii
Lista de Acrónimos.....	xvii
Lista de Equações .....	xix
Lista de Figuras .....	xxi
Lista de Tabelas .....	xxv
1. Introdução.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Problema e questão de investigação .....	3
1.3 Justificação da escolha do tema .....	4
1.4 Hipóteses de investigação.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.6 Método de Investigação .....	6
1.7 Organização da dissertação.....	6
2. Descrição dos sistemas – mísseis ameaça, lançador, e munições .....	9
2.1 Mísseis ameaça .....	9
2.1.1 Mísseis com sistemas de guiamento <i>Homing</i> .....	11
2.1.2 Mísseis Híbridos.....	12
2.2 Sistema de lançamento SRBOC MK 36.....	13
2.2.1 Descrição do sistema .....	13
2.2.2 Emprego do sistema .....	15
2.2.3 Tecnologia Associada.....	16
2.3 Munição MK/PW 216 <i>Chaff</i> D.....	17
2.3.1 Conceito de emprego do <i>Chaff</i> D .....	17
2.3.2 Descrição física da munição MK/PW 216 <i>Chaff</i> D.....	18



2.4	MK 214 <i>Chaff</i> S.....	21
2.4.1	Conceito de emprego do <i>Chaff</i> S.....	21
2.4.2	Descrição física da munição MK 214 <i>Chaff</i> S .....	22
2.5	MK 245 <i>Flares</i> IR .....	23
2.5.1	Conceito de emprego dos <i>Flares</i> IR.....	23
2.5.2	Descrição física da munição MK 245 <i>Flare</i> IR .....	24
3.	Modelação e Simulação .....	27
3.1	Introdução à Modelação e Simulação.....	27
3.2	Estruturação de modelos de simulação.....	33
3.3	Simulações de Monte Carlo (Monte Carlo <i>Trials</i> ) .....	35
4.	O <i>Ship Air Defence Model</i> .....	41
4.1	Objetivos e capacidades do programa .....	41
4.2	Funcionamento do programa .....	44
5.	Parametrização .....	55
5.1	Quadro < <i>Chaff/IR launcher details</i> > .....	56
5.2	Quadro < <i>Chaff type data</i> > .....	57
5.3	Quadro < <i>Chaff/IR round data</i> > .....	59
6.	Validação dos modelos.....	61
6.1	Parametrização do navio.....	61
a)	Separador < <i>Physical</i> > .....	62
i.	Quadro < <i>Ship Physical Details</i> > .....	63
ii.	Quadro < <i>Ship Motion Description Data</i> >~ .....	63
iii.	Quadro < <i>RCS/EOIR</i> > .....	64
b)	Separador < <i>C2</i> > .....	66
c)	Separador < <i>ESM</i> >.....	71
d)	Separador < <i>EO/IR</i> > .....	72
6.2	Construção dos cenários .....	74
6.2.1	Parametrização do cenário .....	75
a)	Quadro < <i>Scenario Summary</i> > .....	76
b)	Quadro < <i>Environment Description</i> > .....	77



6.2.2	Parametrização da ameaça.....	78
6.3	Discussão dos resultados .....	81
7.	Conclusões e recomendações .....	83
7.1	Conclusões .....	83
7.2	Questão central .....	85
7.3	Hipóteses apresentadas .....	85
7.4	Objetivos atingidos .....	86
7.5	Recomendações e trabalho futuro.....	87
	Referências Bibliográficas.....	88
Apêndice A	Características das munições <i>chaff</i> - CONFIDENCIAL.....	A-1
Apêndice B	Experiência dos dardos relativamente às MCT.....	B-1
Apêndice C	- Parametrização do navio – SECRETO.....	C-1
Apêndice D	- Descrição dos cenários dos NATO EWT 1999 e 2001 – SECRETO.....	D-1







## Lista de Acrónimos

<b>ASM</b>	<i>Anti-Ship Missile</i>
<b>ASMD</b>	<i>Anti-Ship Missile Defence</i>
<b>AR</b>	A ré
<b>AV</b>	A vante
<b>BB</b>	Bombordo
<b>C2</b>	<i>Command and Control</i>
<b>CADOP</b>	Centro de Gestão e Análise de Dados Operacionais
<b>CITAN</b>	Centro Integrado de Treino e Avaliação Naval
<b>CIWS</b>	<i>Close-In Weapon System</i>
<b>CO</b>	Centro de Operações
<b>COG</b>	<i>Course Over Ground</i>
<b>COMAR</b>	Centro de Operações da Marinha
<b>COMNAV</b>	Comando Naval
<b>CPA</b>	<i>Closest Point of Approach</i>
<b>DLL</b>	<i>Data Link Library</i>
<b>EB</b>	Estibordo
<b>ESM</b>	<i>Electronic Support Measures</i>
<b>ETA</b>	<i>Estimated Time to Arrive</i>
<b>ETD</b>	<i>Estimated Time to Depart</i>
<b>EW</b>	<i>Electronic Warfare</i>
<b>EWT</b>	<i>Electronic Warfare Trials</i>
<b>IR</b>	<i>Infra-Red</i>
<b>GDH</b>	Grupo Data Hora
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>GUI</b>	<i>Graphical User Interface</i>
<b>HK</b>	<i>Hardkill</i>
<b>HVU</b>	<i>High Value Unit</i>
<b>JJ</b>	Jardas
<b>LOS</b>	<i>Line Of Sight</i>
<b>MATLAB</b>	<i>MATrix LABoratory</i>



<b>MP</b>	Marinha Portuguesa
<b>MCT</b>	Monte Carlo <i>Trial</i> (simulação de Monte Carlo)
<b>M&amp;S</b>	Modelação e Simulação ( <i>Modelling and Simulation</i> )
<b>NATO</b>	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
<b>NM</b>	<i>Nautical Miles</i>
<b>PDMS</b>	<i>Point Defense Missile System</i>
<b>RF</b>	<i>Radar Frequency</i>
<b>SADM</b>	<i>Ship Air Defence Model</i>
<b>SK</b>	<i>Softkill</i>
<b>SOG</b>	<i>Speed Over Ground</i>
<b>SRBOC</b>	<i>Super Rapid Blooming Off-Board Chaff</i>
<b>STO</b>	<i>Seeker Turn-On-</i>
<b>WCS</b>	<i>Weapon Control System</i>



## Lista de Equações

Equação 1 – Equação do círculo (Raio = 0,5) .....	37
Equação 2 – Equação do círculo .....	37





## Lista de Figuras

Figura 1 – Sistemas de guiamento de mísseis. ....	10
Figura 2 – Sistema de guiamento através de <i>homing</i> ativo. ....	11
Figura 3 – Sistema de guiamento <i>homing</i> passivo. ....	12
Figura 4 – Fotografias dos lançadores MK 137 da classe “Vasco da Gama” e Bartolomeu Dias” respetivamente. ....	13
Figura 5 – Localização dos lançadores nos navios da Classe “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias” respetivamente. ....	15
Figura 6 - Sequência de acontecimentos depois de efetuado o disparo de <i>chaff</i> D.....	18
Figura 7 - Munição MK/PW 216 <i>Chaff</i> D.....	19
Figura 8 - Constituição de uma munição MK/PW 216 <i>chaff</i> D .....	19
Figura 9 - Modo de funcionamento da Munição <i>Chaff</i> D .....	20
Figura 10 - Sequência de acontecimentos durante o emprego de <i>Chaff</i> S. ....	21
Figura 11 - Munição MK 214 <i>chaff</i> S .....	22
Figura 12 - Constituição da munição MK 214 <i>chaff</i> S.....	22
Figura 13 – Assinatura térmica de um navio e <i>Flares</i> IR – Imagem não classificada .....	24
Figura 14 - Constituição de uma munição MK 245 <i>Flare</i> IR .....	24
Figura 15 – Classificação do estudo de sistemas.....	28
Figura 16 – Classificação dos modelos segundo Neelamkavil (1987).....	30
Figura 17 - Representação da função $y = f(x,p)$ como um modelo de simulação.....	31
Figura 18 - Processo de implementação dos modelos de simulação .....	34
Figura 19 – Representação do quadro de dardos .....	36
Figura 20 – Extrato da tabela com os dados da experiência dos dardos. ....	36
Figura 21 – Resultado para 1000 iterações.....	38
Figura 22 – Resultados para 16000 iterações. ....	38
Figura 23 – Janela de interface com o utilizador (GUI) inicial, onde se definem alguns parâmetros. ....	43
Figura 24 – Constituição de um cenário base do SADM .....	44
Figura 25 – Hierarquia de objetos para o SADM onde se encontram evidenciadas as plataformas em uso para esta investigação.....	45
Figura 26 – Subsistemas das plataformas de superfície (navios e <i>sites</i> em terra). ....	46



Figura 27 - Modelo ambiental e o seu subsistema. ....	46
Figura 28 – Resultado de uma <i>Batch Run</i> . ....	52
Figura 29 – Resultados obtidos no Cenário A.....	53
Figura 30 – Resultados obtidos no cenário B.....	53
Figura 31 – Constituição do modelo dos engodos. ....	55
Figura 32 – Nuvem de <i>chaff</i> e navio recorrendo ao SADMM (nuvem cor de rosa) e ao SIMDIS (esfera cinzenta).....	59
Figura 33 – Configuração do subsistema do navio. ....	62
Figura 34 - Quadro < <i>Ship Motion Description Data</i> >, pertencente ao subsistema < <i>Ship</i> >.	64
Figura 35 – Quadro < <i>RCS/EOIR</i> >, pertencente ao subsistema < <i>Ship</i> >. ....	65
Figura 36 - Configuração do subsistema <i>Environment</i> . ....	75
Figura 37 – Configuração do subsistema ASM.....	79
Figura D-1 – Imagem da posição definida para a construção do cenário constante do relatório dos EWT de 99.....	D-5
Figura D-2 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 1-1.....	D-7
Figura D-3 – Resultado da série 1-1.....	D-8
Figura D-4 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 1-2.....	D-8
Figura D-5 – Resultado da série 1-2.....	D-9
Figura D-6 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 1-3.....	D-10
Figura D-7 – Resultado da série 1-3.....	D-10
Figura D-8 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 1-4.....	D-11
Figura D-9 – Resultado da série 1-4.....	D-12
Figura D-10 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 1-5. ....	D-12
Figura D-11 – Resultado da série 1-5.....	D-13
Figura D-12 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 1-6.....	D-12
Figura D-13 – Resultado da série 1-6.....	D-14
Figura D-14 – Imagem da posição definida para a construção do cenário constante do relatório dos EWT de 2001.....	D-16
Figura D-15 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 2-1.....	D-17
Figura D-16 – Resultado da série 2-1.....	D-18
Figura D-17 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 2-2.....	D-18
Figura D-18 – Resultado da série 2-2.....	D-19
Figura D-19 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 2-3.....	D-20



---

Figura D-20 – Resultado da série 2-3.....	D-20
Figura D-21 – Visualização do plano de lançamento de <i>chaff</i> da série 2-4.....	D-21
Figura D-22 – Resultado da série 2-4.....	D-21







## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Componentes do SRBOC MK36 nas fragatas da classe Vasco da Gama.....	14
Tabela 2 - Características Operacionais da munição MK/PW 216 <i>Chaff</i> D. ....	20
Tabela 3 - Características Funcionais da munição MK/PW 216 <i>Chaff</i> D.....	20
Tabela 4 - Características Operacionais da munição MK 214 <i>Chaff</i> S .....	23
Tabela 5 – Dados Operacionais da munição MK 245 <i>flares</i> IR.....	25
Tabela 6 - Exemplo de um caso da modelação de um método de resposta a uma ameaça ..	32
Tabela 7 - Campos constituintes do quadro < <i>Chaff/IR Launcher Details</i> >, pertencente ao subsistema < <i>Ship</i> > .....	56
Tabela 8 - Campos constituintes do quadro < <i>Chaff type data</i> >, pertencente ao subsistema < <i>Ship</i> > .....	59
Tabela 9 - Campos constituintes do quadro < <i>Chaff/IR round data</i> >, pertencente ao subsistema < <i>Ship</i> >.....	60
Tabela 10 – Campos constituintes do quadro < <i>Ship Physical Details</i> >, pertencente ao separador < <i>Physical</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> >.....	63
Tabela 11 – Campos constituintes do quadro < <i>Ship Motion Data</i> >, pertencente ao separador < <i>Physical</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> > (Chapman S. , <i>Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields</i> , 2010).	64
Tabela 12 – Campos constituintes do quadro < <i>RCS/EOIR</i> > pertencente ao separador < <i>Physical</i> > e ao subsistema < <i>ship</i> >.....	66
Tabela 13 – Campos constituintes do quadro < <i>General Information</i> > pertencente ao separador < <i>C2</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> >.....	67
Tabela 14 – Campos constituintes do quadro < <i>Potential Threat</i> > pertencente ao separador < <i>C2</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> > .....	68
Tabela 15 - Campos constituintes do quadro < <i>Confirmed Threat</i> > pertencente ao separador < <i>C2</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> > .....	70
Tabela 16 - Campos constituintes do quadro < <i>Additional data – Hardkill/Softkill Coordination</i> > pertencente ao separador < <i>C2</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> >.....	70
Tabela 17 - Campos constituintes do quadro < <i>Additional data – Softkill</i> > pertencente ao separador < <i>C2</i> > e ao subsistema < <i>Ship</i> >.....	71



Tabela 18 – Campos constituintes do quadro <ESM Receiver Details> pertencente ao separador <ESM> e ao subsistema <Ship> .....	72
Tabela 19 – Campos constituintes do quadro <EO/IR Details> pertencente ao separador <EO/IR> e ao subsistema <Ship> .....	72
Tabela 20 - Campos constituintes do quadro <Radar> pertencente ao separador <EO/IR> e ao subsistema <Ship> .....	73
Tabela 21 – Campos constituintes do quadro <Scennario Summary>, pertencente ao subsistema <Environment> .....	77
Tabela 22 – Campos constituintes do quadro <Environment Description>, pertencente ao subsistema <Environment>.....	78
Tabela 23 - Campos constituintes do quadro <ASM Trajectory Data >, pertencente ao subsistema <ASM> .....	80
Tabela 24 - Campos constituintes do quadro <ASM Manoeuvre Characteristics >, pertencente ao subsistema <ASM>. ....	80
Tabela 25 – Tabela comparativa dos resultados obtidos.....	81
Tabela A-1 - Características operacionais da munição MK/PW 216 Chaff D.....	A-1
Tabela A-2 - Características funcionais da munição MK/PW 216 Chaff D.....	A-1
Tabela A-3 - Características Operacionais da munição MK 214 Chaff S .....	A-2
Tabela A-4 - Dados Operacionais da munição MK 245 flares IR.....	A-2
Tabela B-2 – Relação probabilidade de “ser ponto” com a área do quadrado .....	B-5
Tabela B-1 – Dados referentes à experiência dos dardos (Simulações de MC).....	B-5
Tabela C-1 – Campos constituintes do quadro <Ship Physical Details>, pertencente ao separador <Physical> e ao subsistema <Ship>.....	C-1
Tabela C-2 – Campos constituintes do quadro <Ship Motion Data>, pertencente ao separador <Physical> e ao subsistema <Ship>.....	C-2
Tabela C-3 – Campos constituintes do quadro <RCS/EOIR> pertencente ao separador <Physical> e ao subsistema <Ship> .....	C-2
Tabela C-4 – Campos constituintes do quadro <General Information> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.....	C-3
Tabela C-5 – Campos constituintes do quadro <Potential Threat> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.....	C-4
Tabela C-6 - Campos constituintes do quadro <Confirmed Threat> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.....	C-4



Tabela C-7 - Campos constituintes do quadro <Additional Data – HK/SK Coordination > pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.....	C-5
Tabela C-8 - Campos constituintes do quadro <Additional Data – SK> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.....	C-5
Tabela C-9 - Campos constituintes do separador <ESM Receiver Details> pertencente ao subsistema <Ship>.....	C-6
Tabela C-10 – Campos constituintes do quadro <EO/IR Details> pertencente ao separador <EO/IR> e ao subsistema <Ship>.....	C-7
Tabela C-11 – Campos constituintes do quadro <Search Radar Details> pertencente ao separador <EO/IR> e ao subsistema <Ship>.....	C-8
Tabela C-12 – Parametrização do lançador 1 (EB) das fragatas da classe “Vasco da Gama” .....	C-9
Tabela C-13 – Parametrização do lançador 2 (BB) das fragatas da classe “Vasco da Gama” .....	C-9
Tabela C-14 – Parametrização do lançador 1 (EB, a vante) das fragatas da classe “Bartolomeu Dias” .....	C-9
Tabela C-15 – Parametrização do lançador 2 (BB, a vante) das fragatas da classe “Bartolomeu Dias” .....	C-10
Tabela C-16 – Parametrização do lançador 3 (EB, a ré) das fragatas da classe “Bartolomeu Dias” .....	C-10
Tabela C-17 – Parametrização do lançador 4 (BB, a ré) das fragatas da classe “Bartolomeu Dias” .....	C-11
Tabela C-18 – Parametrização do <i>setting</i> 0 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-12
Tabela C-19 – Parametrização do <i>setting</i> 1 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-12
Tabela C-20 – Parametrização do <i>setting</i> 2 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-13
Tabela C-21 – Parametrização do <i>setting</i> 3 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-14
Tabela C-22 – Parametrização do <i>setting</i> 4 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-15
Tabela C-23 – Parametrização do <i>setting</i> 5 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-15
Tabela C-24 – Parametrização do <i>setting</i> 6 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-16
Tabela C-25 – Parametrização do <i>setting</i> 7 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-17
Tabela C-26 – Parametrização do <i>setting</i> 8 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-18
Tabela C-27 – Parametrização do <i>setting</i> 9 da munição de <i>chaff</i> D.....	C-18
Tabela C-28 – Parametrização da munição de <i>chaff</i> S.....	C-19



Tabela C-29 – Parametrização da submunição 1 <i>flare</i> IR.....	C-20
Tabela C-30 – Parametrização da submunição 2 <i>flare</i> IR.....	C-21
Tabela C-31 – Parametrização da submunição 3 <i>flare</i> IR.....	C-21
Tabela C-32 – Parametrização da submunição 4 <i>flare</i> IR.....	C-22
Tabela C-33 – Parametrização da submunição 5 <i>flare</i> IR.....	C-23
Tabela D-1- Campos constituintes do quadro <ASM Trajectory Data>, pertencente ao subsistema <ASM>.....	D-2
Tabela D-2- Campos constituintes do quadro <ASM Body>, pertencente ao subsistema <ASM>.....	D-3
Tabela D-3- Campos constituintes do quadro <ASM Manoeuvre Characteristics>, pertencente ao subsistema <ASM>.....	D-3
Tabela D-4 - Campos constituintes do quadro <Seeker Data for ASM>, pertencente ao subsistema <ASM>.....	D-4
Tabela D-5 - Campos constituintes do quadro <ASM Signature>, pertencente ao subsistema <ASM>.....	D-4
Tabela D-6 – Campos constituintes do quadro <Scennario Summary>, pertencente ao subsistema <Environment>.....	D-5
Tabela D-7 – Campos constituintes do quadro <Scennario Summary>, pertencente ao subsistema <Environment>.....	D-6
Tabela D-8 – Tabela reduzida do quadro <Scennario Summary>, pertencente ao subsistema <Environment>.....	D-16
Tabela D-9 – Tabela reduzida do quadro <Scennario Summary>, pertencente ao subsistema <Environment>.....	D-17



# 1. Introdução

## 1.1 Contexto

Os mísseis são “veículos atmosféricos autopropulsionados, não tripulados e auto ou teleguiados, os quais, com o exercício de controlo e comando podem ter a sua trajetória modificada, por forma a ter aumentada a sua probabilidade de atingir um determinado alvo” (Neto & Almeida, 1997, p. 244), podendo ser lançados de qualquer tipo de plataforma (aérea, superfície e subsuperfície). Desta forma, constituem uma das principais ameaças aéreas, justificando, assim, a necessidade do desenvolvimento de táticas específicas de defesa antimíssil (Dyke, 2008).

As medidas *softkill* de defesa antimíssil têm como objetivo fundamental limitar as capacidades do míssil ou desviá-lo do seu alvo, sem recurso à sua destruição física (NSA, ATP-1 (E) vol. I - Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures, 2010). Estas medidas variam consoante o tipo de míssil em questão (nomeadamente o seu sistema de guiamento), sendo que os engodos radar de sedução e distração são usados para mísseis com *seekers*<sup>1</sup> RF ativo (guiamento radar) e o engodo infravermelho para mísseis com *seekers* de infravermelho (guiamento por fonte de calor). É de referir, no entanto, que, com o avanço tecnológico, existem mísseis que combinam ambos os tipos de *seekers* referidos acima, assim como engodos *dual-mode*, que, como o nome indica, usam tanto o *chaff* como os *flares*<sup>2</sup> para a neutralização do míssil. Estes engodos oferecem ao míssil em voo alvos falsos que se destinam a confundir o sistema de guiamento. O objetivo é que o *seeker* adquira um dos alvos falsos sendo, assim, neutralizada a ameaça (NSA, ATP-1 (E) vol. I - Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures, 2010).

Hoje em dia a ameaça aérea, consubstanciada no míssil antinavio (ASM<sup>3</sup>), é uma das ameaças mais perigosas e destrutivas que um meio naval pode enfrentar, devendo-se este facto à disparidade existente entre ambos os meios – velocidades, dimensões, capacidade destrutiva, entre outros. Os navios são indiscutivelmente “desfavorecidos” neste confronto e, como tal, as guarnições têm de estar preparadas e saber como atuar no contexto da defesa antimíssil. Existe, portanto, uma necessidade de desenvolvimento de

<sup>1</sup> Sistema, ativo ou passivo, incorporado no míssil, utilizado para detetar alvos, (Hall, 2000).

<sup>2</sup> Engodos específicos para mísseis com *seekers* IR (Hall, 2000)

<sup>3</sup> ASM é a sigla inglesa para *Anti-Ship Missile*, ou seja, míssil antinavio (NSA, ATP-1 (E) vol. I - *Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures*, 2010)



táticas e técnicas de emprego de contramedidas disponíveis a bordo ou na força naval, para que seja pré-planeado o conjunto de medidas face a um ataque em desenvolvimento, diminuindo assim o tempo de reação e aumentando, consequentemente, a probabilidade de sobrevivência do navio. Devido aos custos associados e à indisponibilidade de recursos na MP, deve tirar-se partido de todas as ferramentas ao alcance para atingir os objetivos anteriormente referidos, sendo que o recurso à M&S é uma solução alternativa e poderá, eventualmente, ser um dos caminhos a seguir (Chapman & Benke, 2004). A modelação e simulação são alternativas de baixo custo quando comparadas com o custo de meios reais, permitindo criar, explorar, analisar e desenvolver táticas e técnicas de emprego no que diz respeito às medidas de defesa antimíssil (Chapman & Benke, 2004).

Na conjuntura económica atual, são cada vez menos as oportunidades que a esquadra tem para navegar e treinar no mar. Segundo a Diretiva de Política Naval 2011 do Almirante CEMA, face às responsabilidades assumidas pela Marinha, “esta deve corresponder uma permanente prontidão de resposta, materializada na capacidade de projetar uma força naval num curto espaço de tempo, e na manutenção de um dispositivo naval permanente” (p. 12). Assim, e tendo em conta o atual quadro de restrições orçamentais, torna-se, pois, necessário, que a Marinha utilize todos os recursos tidos seu alcance. Para além dos custos associados ao desenvolvimento tático, é de extrema importância a consciência da escassa disponibilidade tanto de plataformas, como de meios dedicados a exercícios reais (Lopes, 2011).

As vantagens de se usar um programa de simulação de situações e cenários hostis são várias, salientando-se de entre elas, o seu baixo custo, a possibilidade de efetuar inúmeras simulações do mesmo cenário variando parâmetros específicos e, ao mesmo tempo, o facto de não se colocar em risco nenhum meio. A desvantagem, óbvia, desta abordagem, é o facto de não existir uma fiabilidade a 100% de que na realidade os eventos irão acontecer da maneira como o simulador apresentou os resultados, apesar de se poder modelar uma quantidade significativa de parâmetros que aproxima a simulação da realidade (Niemeyer, 2003).

O SADM é um programa de simulação de defesa aérea para navios, desenvolvido e comercializado pela empresa australiana BAE SYSTEM'S, que permite calcular a probabilidade de sobrevivência face a diferentes tipos de ameaça aérea, tendo em conta os vários tipos de defesa possível para cada situação (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010)



A validação é um dos aspetos mais importantes do trabalho, uma vez que, depois de feita, é possível tirar conclusões acerca da fiabilidade dos modelos parametrizados. Assim, o facto de o modelo ser coerente com os dados reais decorrentes dos NATO EWT, permitirá a futuros utilizadores realizarem simulações, sabendo que estas estão próximas da realidade. A validação dos modelos parametrizados permitirá aferir da fiabilidade do programa, bem como, a possibilidade de realizar inúmeras simulações com diferentes objetivos, sem qualquer tipo de custo (Silva, 2006). O recurso aos dados dos NATO EWT decorre da impossibilidade de utilizar outros dados para a validação dos modelos. Por exemplo, o modelo de um radar é facilmente validado quando um navio sai para o mar, uma vez que não tem implicações acrescidas à missão. Por outro lado, para a validação dos modelos de munições *chaff* é necessário desenhar um exercício específico e com meios específicos para tal.

## 1.2 Problema e questão de investigação

A questão central a que este trabalho pretende responder é:

**- Será o modelo dos engodos antimíssil, construído com recurso ao programa SADM, uma ferramenta de confiança para a MP poder utilizar? Isto é, qual o grau de confiança dos modelos, para que possam ser usados como um meio de modelação e simulação, para os fins acima propostos?**

Apesar deste programa ser utilizado por outras marinhas de diferentes países, este não está devidamente modelado para os navios e meios da Marinha Portuguesa em específico. Acresce que a classificação de segurança das matérias e dos modelos em questão restringe seriamente a possibilidade de troca de informação entre utilizadores do programa.

Assim, para aferir da fiabilidade do programa, simulam-se as condições de um exercício específico (já ocorrido), com o objetivo de verificar se os resultados obtidos na simulação correspondem à realidade do que ocorreu aquando do exercício.





### 1.3 Justificação da escolha do tema

O SADM constitui uma ferramenta versátil que possibilita a resolução de vários tipos de problemas de defesa aérea de um navio (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

No entanto, apesar da Marinha estar na posse do programa desde 2006, este não está a ser utilizado eficazmente, devido a dificuldades na modelação dos navios e dos sistemas neles existentes. Tal facto deve-se primariamente à inexistência de uma equipa multidisciplinar dedicada a esta tarefa, tal como fora definido no projeto de aquisição da ferramenta.

A M&S constituem alternativas de baixo custo quando comparadas com o custo de meios reais (como veremos mais adiante no capítulo 3), permitindo a criação, análise e desenvolvimento de táticas e técnicas de emprego no que diz respeito às medidas de defesa antimísil. A validação dos modelos parametrizados permitirá aferir da fiabilidade do programa, bem como, a possibilidade de realizar inúmeras simulações com diferentes objetivos, sem qualquer tipo de custo.

Assim, é de extrema importância a parametrização de modelos que possam ser posteriormente validados, recorrendo para isto ao SADM, para que, a pouco e pouco, se comece a tirar máximo partido desta ferramenta que a Marinha adquiriu.

### 1.4 Hipóteses de investigação

Tendo em conta a questão exposta no subcapítulo anterior, apresentam-se três hipóteses de investigação:

- Hipótese 1: Os resultados obtidos através da reconstrução de cenários e modelação dos engodos são coerentes com os resultados reais;
- Hipótese 2: Os resultados obtidos através da reconstrução de cenários e modelação dos engodos são díspares relativamente aos resultados reais, devido a uma parametrização insuficiente, ainda que exaustiva (isto é, no momento da recolha dos dados para a elaboração dos relatórios, não foram considerados todos os parâmetros necessários ao SADM);





- Hipótese 3: Os resultados obtidos através da reconstrução de cenários e modelação dos engodos são díspares relativamente aos resultados reais, devido a uma incompatibilidade ou causas por determinar.

## 1.5 Objetivos

Esta investigação tem como objetivo geral a modelação dos engodos antimíssil usados pela MP, com recurso à aplicação SADM para, após a sua validação (com base nos relatórios elaborados no âmbito dos NATO EW *Trials* em que a MP participou em 1999, 2001 e 2006) e aferição de fiabilidade, os resultados serem disponibilizados à comunidade operacional para o desenvolvimento de táticas e técnicas de defesa antimíssil, preparação de missões e em instrução e treino, quer ao nível da Esquadra, quer das unidades navais.

Foram definidos como objetivos específicos os seguintes:

1. Recolher e reunir informação pertinente e correta, relativamente aos sistemas de defesa aérea *softkill* existentes a bordo dos navios das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias” (nomeadamente o lançador SRBOC MK 36 e respetivas munições);
2. Recolher e reunir informação relativamente ao tipo de mísseis ameaça a utilizar para este trabalho;
3. Interagir com o programa SADM, por forma a conhecer as suas vantagens e desvantagens, na perspetiva do utilizador;
4. Consultar os relatórios relativos aos NATO EWT, em que a MP participou, recolhendo os dados relevantes para a realização deste trabalho, nomeadamente as características ambientais, as características das ameaças e o modo de operação dos navios face a estas, e, em especial, o desempenho dos engodos;
5. Reconstituir os cenários ocorridos, tão fielmente quanto possível, aquando das edições dos NATO EWT em estudo para este trabalho;
6. Confrontar os resultados obtidos através do programa de simulação SADM, com os resultados reais, descritos nos relatórios dos exercícios;
7. Tirar conclusões relevantes sobre o confronto, dando sugestões sobre o que pode ser melhorado, e o que fazer nesse sentido.



## 1.6 Método de Investigação

Citando Sousa e Baptista (2011), é possível definir a metodologia de investigação como um processo de seleção da estratégia utilizada para a investigação. De igual modo, é possível definir método, segundo Grawitz (1993), como um conjunto de operações realizadas para se atingir um ou mais objetivos, um corpo de princípios que dirige toda a investigação, um conjunto de normas que permitem tanto selecionar como coordenar técnicas (Sousa & Baptista, 2011, p. 53).

Existem diversos tipos de métodos de investigação, como por exemplo, os métodos de investigação qualitativa, quantitativa ou até métodos de investigação mistos (Sousa & Baptista, 2011, p. 53). No método de investigação quantitativa, sempre que haja possibilidade, o investigador efetua medições rigorosas e precisas do tipo quantitativo e, se possível, formula matematicamente as suas observações e conclusões (Ribeiro J. M., 2007). Este tipo de investigação apresenta geralmente como objetivo a identificação e a apresentação de dados, indicadores e tendências observáveis. Por isto mesmo, este método é aplicável a estudos que necessitem de quantificar certas variáveis a partir de amostras de uma população (Sousa & Baptista, 2011). Por outro lado, no método de investigação qualitativa o investigador realiza observações do tipo qualitativo, sendo que nestas observações analisa-se um determinado fenómeno, procurando o motivo do seu acontecimento, entre outros fatores (Ribeiro J. M., 2007). Pode dizer-se que este tipo de investigação está centrado na compreensão dos problemas, bem como na análise de comportamentos (Sousa & Baptista, 2011).

Este trabalho tem como base fundamental a modelação matemática e a experimentação através do programa SADM e, mais tarde, a análise estatística dos dados que dará as respostas às questões destes trabalhos. Assim, com base nos autores, previamente citados, é possível afirmar que este trabalho será elaborado com recurso ao método quantitativo uma vez que se efetua uma recolha de dados e, posteriormente, a análise dos resultados.

## 1.7 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. O presente capítulo (o capítulo 1) constitui a introdução, contendo uma contextualização do tema, as questões da



investigação, bem como as hipóteses, entre outros. O segundo capítulo trata da descrição dos sistemas objetos desta dissertação, entre eles, a descrição do míssil ameaça, a descrição dos lançadores de engodos e dos próprios engodos. A informação contida neste capítulo será complementada com informação adicional classificada constante dos apêndices. O terceiro capítulo consiste numa breve introdução à modelação e simulação. O quarto capítulo constitui a explicação das funcionalidades do programa SADM, uma vez que este será fundamental para o desenvolvimento desta dissertação. O quinto capítulo trata da parametrização dos modelos específicos que são o objetivo desta dissertação. Tal como no segundo capítulo, existe informação classificada que estará disponível em complemento no apêndice respetivo. O sexto capítulo tratará da validação dos modelos parametrizados anteriormente, e o sétimo capítulo será constituído pelas conclusões desta dissertação, bem como recomendações para trabalhos futuros.





## 2. Descrição dos sistemas – mísseis ameaça, lançador, e munições

### 2.1 Mísseis ameaça

Desde a origem da Humanidade que o Homem recorreu a utensílios de natureza defensiva e ofensiva, para se proteger, para caçar e para conquistar. Após milénios de evolução, estas armas tornaram-se cada vez mais destrutivas, conservando algumas características úteis, como o facto de poderem ser pequenas e portáteis.

Atualmente, os mísseis constituem uma das ameaças mais prementes para um navio, devido, à sua dificuldade de deteção, ao seu grande poder destrutivo e à sua alta velocidade, face à velocidade de um navio. A Guerra das *Falklands* ou das Malvinas, ocorrida em 1982, é um exemplo desta realidade. O afundamento do *destroyer* HMS "Sheffield" por mísseis *Exocet* lançados por aviões argentinos, assim como um ataque ao navio mercante *Atlantic Conveyor*, causando também o seu afundamento, são apenas duas evidências que corroboram este facto (Dyke, 2008). Segundo David Hart Dyke, comandante do HMS "Coventry", o míssil que atingiu o HMS "Sheffield" "*had slammed into her starboard side close to the waterline, creating an inferno of fire and smoke and massive damage inside the ship*" (Dyke, 2008, p. 91).

O facto deste tipo de armas poder ser lançado de diversas plataformas - navios, aviões, terra e até submarinos -, torna-as uma arma versátil. Por outro lado, aos mísseis estão associados diversos sistemas de guiamento, de que serão abordados os fundamentais para este trabalho nos subcapítulos seguintes. Os sistemas de guiamento dos mísseis têm como principal objetivo a determinação da trajetória de voo necessária à interceção do alvo que lhe foi atribuído. O facto de os mísseis não serem tripulados implica a existência de uma preocupação relativa à sua precisão terminal, de modo a serem o mais eficazes possível. O emprego de sistemas de guiamento provou ser uma solução adequada, entre outras, ao problema da precisão terminal. (Hall, 2000)

Estes sistemas, independentemente do seu tipo, são sempre constituídos por um *target tracker* (que faz a monitorização da posição e movimentos do alvo), um *missile tracker* (que monitoriza o míssil) e um computador de guiamento, podendo estes ser interiores ou exteriores ao míssil em questão. Para além disso, a ogiva e o sistema de

propulsão também fazem parte da constituição essencial de um míssil (Armada, Sebenta de Explosivos e Munições, s. d.).

Para melhor compreensão do funcionamento do sistema míssil, é possível dividir a trajetória do míssil, desde que sai da plataforma lançadora, até chegar ao alvo a que foi atribuído, em três fases: fase inicial, fase de guiamento a meio curso e fase de guiamento terminal. A primeira fase, ou fase inicial, inicia-se com o lançamento, terminando assim que o míssil atinge a velocidade cruzeiro, movimentando-se na direção previamente introduzida no sistema computacional da plataforma. A segunda fase, ou fase de guiamento a meio curso, existe nos casos em que modo de guiamento entre a primeira e a terceira fases for diferente, sendo que o objetivo nesta etapa é manter o míssil na trajetória de voo adequada, desde a plataforma lançadora até estar nas imediações do alvo. Para isto, o míssil tem incorporado um sistema de controlo de voo que, utiliza dados dos sensores do próprio míssil, ou de fontes externas (nomeadamente da plataforma de onde foi lançado). Por fim, a terceira fase, fase de guiamento terminal, consiste na busca do alvo previamente designado a partir da plataforma lançadora (Hall, 2000).

Segundo Hall (2000) é possível dividir os mísseis em duas categorias distintas, relativamente ao tipo de sistema de guiamento que possuem: *Remote Guidance* (guiamento remoto) ou *Homing Guidance*. Será abordado apenas o sistema *Homing Guidance* uma vez que será o sistema utilizado nesta dissertação.

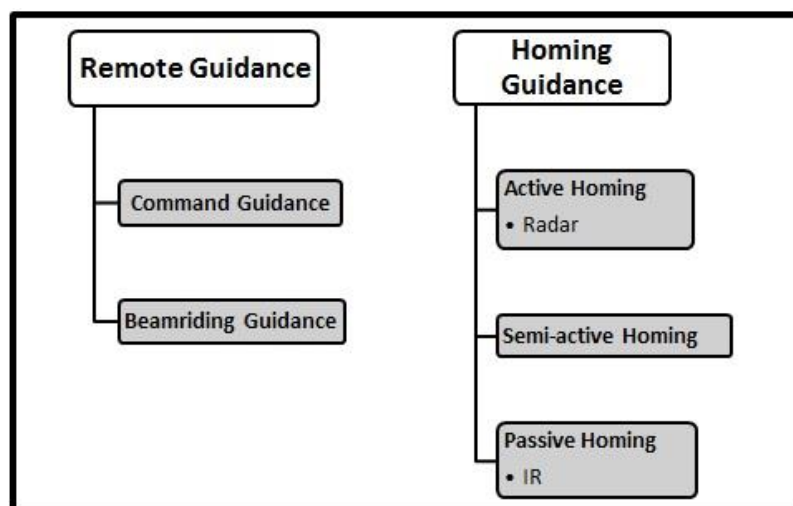


Figura 1 – Sistemas de guiamento de mísseis (Hall, 2000).

### 2.1.1 Mísseis com sistemas de guiamento *Homing*

Os mísseis com sistema de guiamento *homing* podem ser de três tipos, tendo em conta o modo de transmissão – *homing* ativo, *homing* semi-ativo ou *homing* passivo (Hall, 2000, p. 237). Neste tipo de mísseis, os três componentes (*target tracker*, *missile tracker* e computador de guiamento) estão a bordo do míssil.

- Mísseis de *homing* ativo - o *target tracker* é designado como *seeker*, sendo ao mesmo tempo, transmissor, antena e recetor. Devido ao facto de os mísseis serem limitados em energia própria, é frequente utilizarem outro tipo de guiamento (navegação inercial), até entrarem numa zona de probabilidade do alvo, altura em que estabelecem o *seeker* (Hall, 2000). Este tipo de sistema de guiamento é utilizado em mísseis antinavio como o *Harpoon*, utilizado na MP, e o *Exocet*, entre outros, atingindo alcances superiores a 75 NM.



Figura 2 – Sistema de guiamento através de *homing* ativo (NSA, ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual, 2005).

A Figura 2 representa um míssil com um sistema de guiamento *homing* ativo. Um míssil com este tipo de sistema de guiamento transmite impulsos radar após o estabelecimento do *seeker*, detetando ecos radar através das reflexões dos impulsos no(s) alvo(s). Seguidamente, o míssil faz a aquisição (ou o *lock-on*) do alvo, sendo que a plataforma lançadora não tem qualquer influência sobre a escolha deste – designados comumente por mísseis *fire and forget* (Hall, 2000). É usual introduzir-se um planeamento no sistema computacional do míssil antes do seu lançamento, melhorando a geometria de aproximação ao alvo ou definindo prioridades de busca, para que a probabilidade de adquirir o alvo desejado seja superior.

- Mísseis de *homing* passivo – Nos mísseis que utilizam o *homing* passivo não existe nenhum tipo de transmissão, pelo que os *seekers* utilizam uma forma de energia libertada pelo alvo para o detetarem e localizarem. No caso da presente dissertação, os *seekers* utilizam a banda de frequência de infravermelho (IR) para fazer o seguimento do alvo, sendo atraídos pelas emissões espectrais produzidas pelas estruturas dos navios e pela temperatura dos gases expelidos pelas chaminés. Assim, quanto maior for a assinatura térmica (IR) de um navio, maior será a probabilidade de o míssil o adquirir como alvo. Por isto mesmo, este tipo de sistema consiste num sistema passivo, uma vez que não depende da emissão de impulsos, captando apenas a radiação eletromagnética no espectro IR (Hall, 2000).

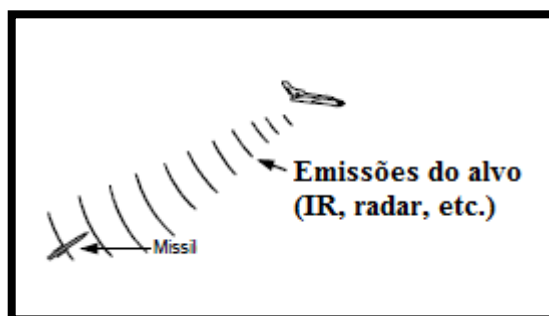


Figura 3 – Sistema de guiamento *homing* passivo (NSA, ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual, 2005).

### 2.1.2 Mísseis Híbridos

Os mísseis híbridos (ou *dual mode*) possuem os dois tipos de sistema de guiamento já referidos, ou seja, estão equipados com um *seeker* RF (*homing* ativo) e um *seeker* IR (*homing* passivo), de modo a detetarem alvos nos dois espectros de frequências. Existem duas vantagens principais na utilização deste tipo de mísseis: por um lado, na possibilidade de não existir nenhum tipo de emissão por parte do alvo, este sistema funciona em modo ativo, como um míssil com sistema de guiamento *homing* ativo; por outro lado, este tipo de míssil pode utilizar o modo passivo durante grande parte do trajeto até ao alvo, estabelecendo, na fase de guiamento terminal, o *seeker* ativo para uma melhor precisão na designação do alvo e uma maior dificuldade de deteção por parte do alvo (Hall, 2000).



## 2.2 Sistema de lançamento SRBOC MK 36

### 2.2.1 Descrição do sistema

O *Super Rapid Bloom Offboard Chaff* (SRBOC) MK 36 Mod 1 consiste num sistema de contramedidas antimíssil que utiliza diversos tipos de engodos para confundir os sistemas de guiamento dos mísseis (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.). Por isto mesmo, o sistema de lançamento MK 36 MOD 1 faz parte do sistema de defesa do navio.

O sistema é controlado a partir Centro de Operações (CO) do navio (em caso de necessidade também pode ser controlado da ponte, no caso das fragatas da classe Vasco da Gama), visto que o seu emprego depende tanto da utilização dos sensores do navio, como da avaliação dos dados por eles fornecidos.

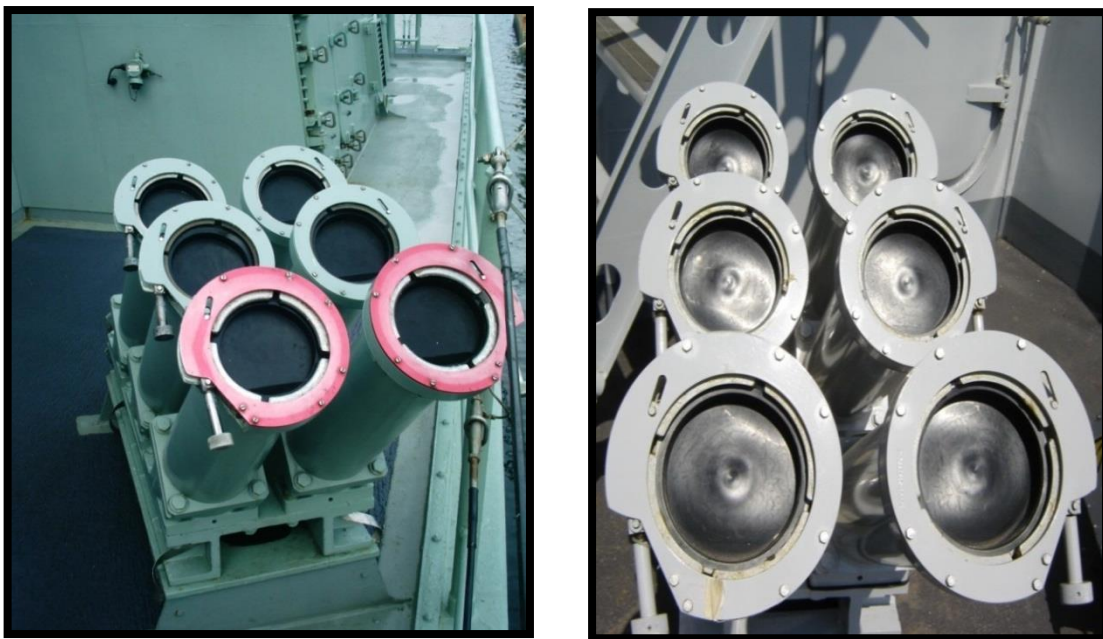


Figura 4 – Fotografias dos lançadores MK 137 da classe “Vasco da Gama” e Bartolomeu Dias”  
respetivamente.

No caso das fragatas da classe Vasco da Gama, o sistema de lançamento MK 36 MOD 1 é constituído por dois lançadores do tipo morteiro montados no convés, um de cada bordo, ambos voltados para vante, fazendo um ângulo de 35° com a proa do navio. Cada um dos lançadores tem uma fonte de alimentação associada, um painel de controlo principal no CO e um painel de controlo secundário na ponte. Junto de cada lançador



existe, também, um cofre de munições prontas que tem capacidade para 20 munições. Este equipamento tem a capacidade de lançar diversos tipos munições de *chaff* D, S e engodos IR, o que permite utilizar a munição mais adequada a cada tipo de ameaça (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.).

Componente	Quantidade	Dimensões (cm)	Observações
Lançador MK 137 MOD 1	2	160/43/86	Um de cada bordo
Painel de controlo principal MK 158 MOD 1	1	31/48/11	-
Painel de controlo da ponte MK 164 MOD 1	1	26/20/10	Constituído por dois sub-painéis (um para cada bordo)
Fonte de alimentação MK 160 MOD 1	2	61/61/26	-
Cofre de Munições Prontas MK 5 MOD 2	2	145/94/142	-

Tabela 1 - Componentes do SRBOC MK36 nas fragatas da classe Vasco da Gama (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.).

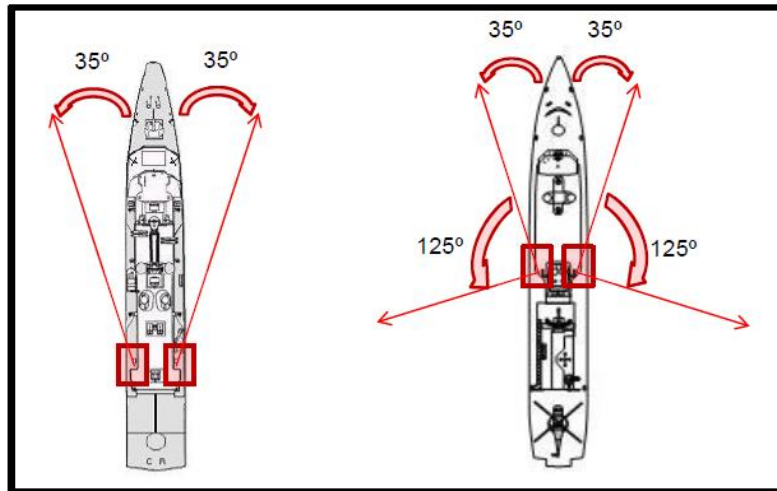


Figura 5 – Localização dos lançadores nos navios da Classe “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias” respetivamente.

Nas fragatas da classe Bartolomeu Dias o sistema é constituído por quatro lançadores do tipo morteiro montados em ambos os bordos do navio, sendo que em cada bordo, um está voltado para vante, fazendo um ângulo de 35° com a proa, e outro está voltado para ré, fazendo um ângulo de 125° com a proa do navio. Cada um dos lançadores tem uma fonte de alimentação associada, tendo apenas um painel de controlo no CO. Existe também, nas imediações dos lançadores, um paiol por bordo, que contém 50 munições, funcionando assim como um cofre de munições prontas. Tal como nas fragatas da classe Vasco da Gama, este equipamento tem a capacidade de lançar munições de *chaff* D, S e engodos IR, permitindo assim utilizar a munição mais adequada a cada tipo de ameaça (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.).

O lançador MK 137 MOD. 1 é constituído por dois componentes principais, a base e o tubo lançador. Cada lançador é composto por 6 tubos, com um ângulo de elevação fixa de 45° e com 62,2 cm de comprimento, características comuns nas duas classes de navios (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.).

### 2.2.2 Emprego do sistema

O objetivo deste sistema é, tal como já foi referido anteriormente, confundir os sistemas de guiamento dos mísseis ameaça, de modo a desviá-los do navio na fase de aquisição do alvo (*chaff* D) ou na fase de guiamento terminal (*chaff* S/engodos IR).



Como os lançadores são fixos é necessário otimizar a geometria de lançamento, em função da direção da ameaça, do vento e da proa e velocidade do navio, de modo a garantir que o engodo é posicionado numa localização que, ao ser arrastado pelo vento, se ofereça como alvo ao míssil em aproximação, evitando assim que o navio seja atingido. A munição é disparada por efeito magnético, através de um impulso que inicia a escorva elétrica, provocando a ignição da carga propulsora (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.).

Dependendo do tipo de munição, estas saem com uma velocidade à boca de 82.5 m/s ou de 46 m/s respetivamente para as munições de *chaff* D e S (Armada, PEETNA SRBOC MK 36 Mod1, s. d.).

### 2.2.3 Tecnologia Associada

Apesar de os lançadores não estarem integrados nos sistemas de combate, tanto na classe “Vasco da Gama” como na classe “Bartolomeu Dias”, existe um aconselhamento por parte destes sistemas.

Nas fragatas da classe “Vasco da Gama”, através do STACOS<sup>4</sup>, na página referente ao *chaff* (E03 CHAFF), após ser designado o alvo na consola HDC2<sup>5</sup> (DESIGN CHAFF), é apresentado o aconselhamento do bordo, bem como o rumo e velocidade a utilizar quando de modo a que o disparo de *chaff* seja efetivo (tendo em conta o eixo da ameaça) (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Já nas fragatas da classe “Bartolomeu Dias” através do SPIDER<sup>6</sup>, na consola GOS<sup>7</sup>, quando o oficial responsável pela guerra antiaérea prime a tecla especial CHAFF (estando designado um alvo), é apresentado o lançador a utilizar, bem como o rumo e a velocidade aconselhados para que o disparo de *chaff* seja efetivo (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

<sup>4</sup> O STACOS – *Signaal Tactical Command Operanting System* – é um dos subsistemas constituintes do sistema de combate do navio ou SEWACO (*Sensor Weapon and Command*).

<sup>5</sup> A HDC 2 – *Horizontal Display Console* – é a consola onde está sentado o oficial responsável pelas operações antiaéreas, no Centro de Operações.

<sup>6</sup> O SPIDER – *Ship's Processor Interconnection and Data Exchange Resource* – é o sistema de combate existente a bordo das fragatas da classe “Bartolomeu Dias”.

<sup>7</sup> A GOS – *General Operating System* – consiste na consola de trabalho dos operadores SPIDER, existente a bordo das fragatas da classe “Bartolomeu Dias”.



## 2.3 Munição MK/PW 216 *Chaff* D

### 2.3.1 Conceito de emprego do *Chaff* D

*Chaff* é um conceito que significa o emprego de refletores de energia eletromagnética proveniente de radares, consistindo em inúmeras tiras de folha de metal ou fibra de vidro metalizada. O objetivo do *chaff* é afetar os radares do inimigo, adicionando outros ecos ao seu panorama radar de modo a dificultar a escolha do alvo verdadeiro (NSA, ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual, 2005).

O *chaff* D - *distraction* -, é utilizado como engodo especificamente para os mísseis com guiamento através de *seekers* RF ativo, já que distrai o radar deste tipo de aparelhos, levando-os a adquirir a nuvem de *chaff* como alvo, em vez do navio. Cada carga de *chaff* D contém no seu interior inúmeras palhetas metálicas que refletem a radiação criando, assim, um eco falso. Pretende-se com o seu uso levar o *seeker* a selecionar a nuvem como alvo, presumindo desta maneira que a mesma é um navio (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Ao receber a informação de que existe um míssil inimigo no ar, o navio prepara tanto o *softkill* como o *hardkill*, utilizando-os pela respetiva sequência e integrando-os harmoniosamente no método da defesa em profundidade. O *chaff* D é a primeira contramedida a utilizar, devido ao facto do modo de funcionamento estar diretamente ligado à distância a que o míssil ameaça se encontra do seu alvo. O conceito de emprego do *chaff* D consiste em oferecer ao míssil em aproximação um ou vários alvos radar, de dimensões semelhantes às do navio-alvo, aquando do *seeker turn-on* - STO. Deste modo, caso a nuvem seja corretamente colocada, o computador de guiamento selecionará uma nuvem de *chaff* como alvo, em lugar do navio. Neste caso, é crucial que o disparo de *chaff* D e consequente formação da nuvem, ocorra antes do míssil ameaça ligar o seu radar de busca sendo que a distância a que isto ocorre depende de míssil para míssil. A seleção do local de colocação da nuvem de *chaff* dependerá de vários fatores, entre eles, as características do padrão de busca do radar do míssil (se procura da esquerda para a direita ou vice-versa, de próximo para afastado ou vice-versa), a direção da ameaça, o vento que se faz sentir, a posição de unidades amigas ou de unidades valiosas a proteger, a existência de outras ameaças e perigos para a navegação (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.). O disparo deverá ser efetuado para longe do navio de modo a que, depois de a nuvem de *chaff* estar formada (tendo em conta tanto o movimento

do navio, como o vento existente) o radar do míssil, ao ligar, considere a nuvem um alvo mais atrativo do que o navio, levando-o a adquiri-la como alvo e neutralizando assim o seu ataque. Uma vez que não existe a destruição da ameaça propriamente dita, apenas a sua neutralização, esta medida é considerada *softkill* (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

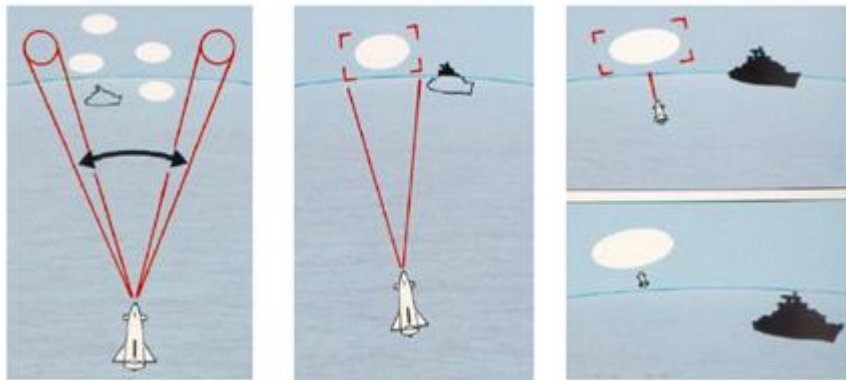


Figura 6 - Sequência de acontecimentos depois de efetuado o disparo de *chaff* D (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Na figura 6, é possível constatar que o radar do míssil ameaça realiza uma busca, adquirindo no seu panorama vários ecos, correspondentes ao navio e às nuvens de *chaff*. Ao adquirir uma nuvem de *chaff* como alvo, o míssil faz o seguimento dando-se assim a neutralização da ameaça.

A MP possui no seu inventário o *chaff* D, participando ocasionalmente em exercícios como os NATO EWT, onde é possível avaliar as condições de formação de uma nuvem ideal para ser adquirida como alvo, bem como outros fatores importantes para o planeamento da utilização de medidas *softkill*.

### 2.3.2 Descrição física da munição MK/PW 216 *Chaff* D

A contramedida *Chaff Distraction* 130 mm MK/PW 216 é, um engodo concebido para distração de mísseis de *homing* radar ativo, sendo que a nuvem formada alcança uma distância variável entre 1 a 2.7 km.

A munição usa um motor foguete para fornecer a impulsão, um paraquedas para controlar não só a variação de descida mas, também, o posicionamento da unidade de *chaff*



e um sensor ajustável, para assegurar que o *chaff* é distribuído a uma distância e altitude apropriada (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).



Figura 7 - Munição MK/PW 216 *Chaff* D (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

A munição consiste em cinco seções principais:

- 1- Sistema de propulsão;
- 2- Unidade modular dos eletrônicos, incluindo o interruptor barométrico de pressão e o seletor em altura e distância;
- 3- Módulo separador / motor carga e paraquedas;
- 4- Mecanismo *Safe & Arm* da carga;
- 5- Carga de *chaff*;

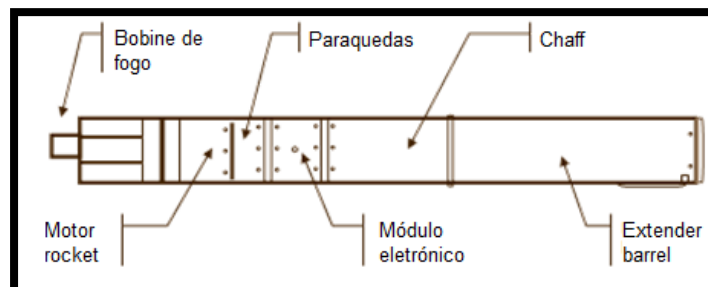


Figura 8 - Constituição de uma munição MK/PW 216 *chaff* D (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

A munição MK/PW 216 de propulsão foguete foi desenhada para detonar a uma distância e altura pré-selecionada distribuindo assim uma carga de *chaff* única. Esta pré-seleção é feita diretamente na munição, não sendo possível fazê-lo a partir do CO. Através da indução eletromagnética é aplicado um sinal de fogo à munição. Ativado o circuito altímetro, este colhe uma amostra da pressão atmosférica armazenando essa mesma

informação em memória. Seguidamente envia o impulso requerido para inflamar o motor foguete, iniciando assim a propulsão da munição a uma velocidade de 46 m/s.

Após o lançamento, num tempo pré-selecionado, o circuito altímetro envia um sinal para iniciar a separação do motor foguete e abertura do paraquedas. A carga é armada após 3,5 segundos e a queda através de paraquedas dá-se a uma velocidade de 40 a 52 m/s até chegar a uma altitude pré-selecionada (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

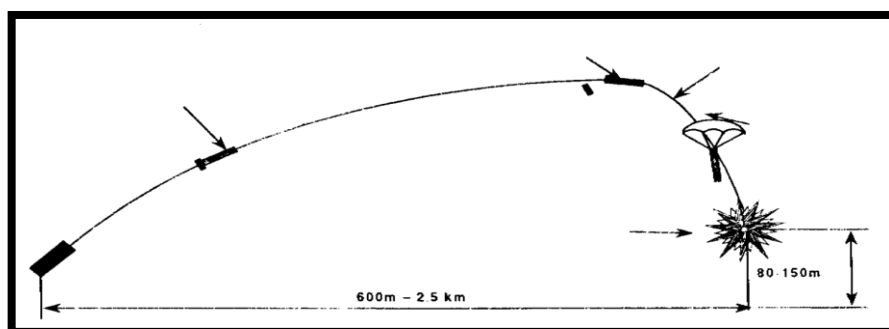


Figura 9 - Modo de funcionamento da Munição *Chaff* D (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

**Informação classificada**  
Consultar anexo A, página A-1,  
tabela A-1.

Tabela 2 - Características Operacionais da munição MK/PW 216 *Chaff* D (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

**Informação classificada**  
Consultar anexo A, página A-1,  
tabela A-2.

Tabela 3 - Características Funcionais da munição MK/PW 216 *Chaff* D (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).



## 2.4 MK 214 Chaff S

### 2.4.1 Conceito de emprego do Chaff S

O *chaff S* – *seduction* – é outra medida antimíssil passível de ser utilizada. Esta carga destina-se a ser utilizada contra um míssil que já adquiriu o navio como alvo (isto é, já fez o *lock-on*) e está em seguimento terminal (NSA, ATP-31 (B) - NATO *Above Water Warfare Manual*, 2005).

O conceito de emprego consiste em colocar uma nuvem de engodos no ar, a curta distância do navio, levando o navio a passar nas franjas dessa mesma nuvem – através da deslocação do próprio navio, do arrastamento da nuvem pelo vento ou de uma conjugação de ambos – para que a janela de seguimento do radar do míssil (*gate*) fique na nuvem de *chaff*, enquanto o navio se afasta (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Tal como no caso do *chaff D*, a seleção da configuração de lançamento do engodo depende das características do míssil ameaça, da sua direção, do vento que se faz sentir, da existência de unidades amigas, de unidades valiosas a proteger, de outras ameaças ou de perigos para a navegação.

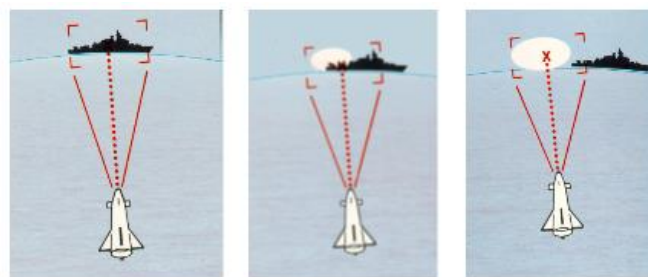


Figura 10 - Sequência de acontecimentos durante o emprego de *Chaff S* (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Como se pode constatar na figura 10

Figura 10, depois de o navio ter sido adquirido como alvo por parte do míssil ameaça (*lock-on*), o míssil faz o seguimento ao navio. Após o disparo de *chaff S* a nuvem separa-se do navio, de modo a que a janela de aquisição se mantenha nesta, ao invés do navio. Assim sendo, o míssil ameaça segue a nuvem de *chaff S* (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

## 2.4.2 Descrição física da munição MK 214 *Chaff* S

A munição MK 214 *chaff* S é um engodo com propulsão própria que produz uma nuvem de *chaff* cujas características permitem a sedução dos radares *homing* de mísseis antinavio.

A munição é constituída por um tubo cilíndrico de fibra de vidro e uma base de alumínio. Ao longo do tubo cilíndrico estão dispostas pequenas embalagens contendo palhetas de fibra de vidro revestidas de alumínio, encontrando-se na zona central a carga explosiva. Na base da munição encontram-se a bobine de fogo, a carga propulsora, o dispositivo de armar, a escorva e ainda o pirotécnico de retardo de ignição da carga explosiva (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

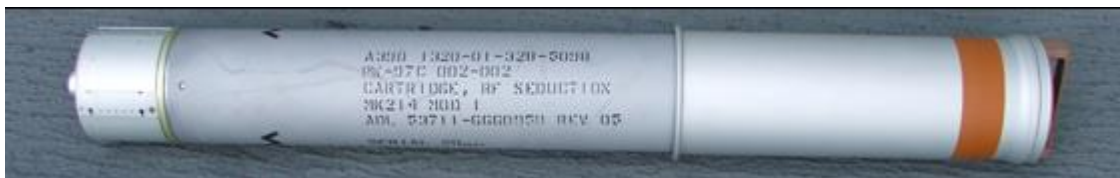


Figura 11 - Munição MK 214 *chaff* S (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

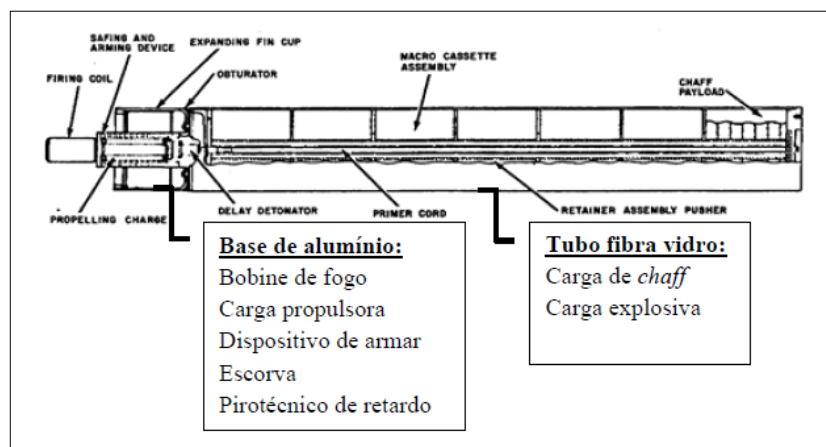


Figura 12 - Constituição da munição MK 214 *chaff* S (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).



A ignição da munição é conseguida por efeito eletromagnético, através da transmissão de um impulso, da bobine de excitação à bobine de fogo, que se encontra na base da munição. Este impulso, inicia a escorva elétrica responsável pela ignição da carga propulsora e do pirotécnico de retardo. Este pirotécnico retarda durante 3,5 segundos a ignição da carga explosiva, a qual, é responsável pela formação de uma nuvem de *chaff* (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

**Informação classificada**  
Consultar anexo A, página A-2,  
tabela A-3.

Tabela 4 - Características Operacionais da munição MK 214 *Chaff* S (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

## 2.5 MK 245 *Flares* IR

### 2.5.1 Conceito de emprego dos *Flares* IR

As munições MK 245 *flares* IR são contramedidas contra mísseis antinavio com *seekers* que utilizam um sistema de guiamento por infravermelhos (IR) para fazer a aquisição e o seguimento do alvo. Estes tipos de mísseis são atraídos pelas emissões espectrais produzidas pelas estruturas dos navios, sendo relevante dissimular e reduzir o máximo possível a assinatura térmica do navio (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Cada munição é constituída por cinco engodos (submunições), contendo cada um deles, uma carga luminescente - o designado *flare* - que, uma vez lançado, se distribui numa área de grandes dimensões, numa razão de queda lenta. É, assim, gerado um alvo semelhante – ou mais atraente – a um navio, em termos de características e forma de irradiação. Ao serem lançadas, estas munições mantêm a intensidade luminosa por um período de 30 a 60 segundos (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.). O curto alcance da radiação IR, leva a que os *seekers* deste tipo de ameaça tenham distâncias de deteção e aquisição inferiores aos *seekers* radar. Desse mesmo modo, o alcance dos *flares* é limitado, pelo que a conjugação destes dois fatores leva a que os engodos IR sejam normalmente utilizados em modo sedução (S), isto é, somente depois do

míssil ameaça ter feito o *lock-on* sobre o navio (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

Deste modo, uma das técnicas mais utilizadas é a técnica de sedução *walk-off*, em que as cinco submunições contidas numa munição são lançadas sequencialmente a distâncias superiores e intervalos de lançamento variáveis, de modo a afastar gradualmente o centróide do engodo IR do navio.

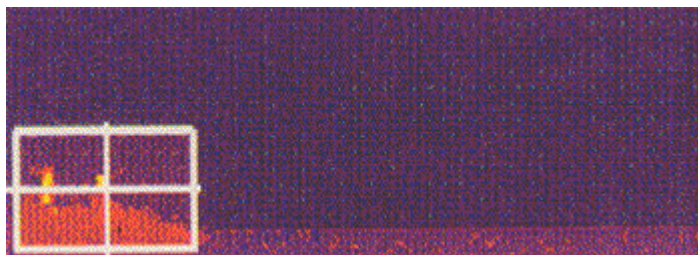


Figura 13 – Assinatura térmica de um navio e *Flares* IR – Imagem não classificada (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

## 2.5.2 Descrição física da munição MK 245 *Flare* IR

Este tipo de munições são engodos baseados em materiais fosfóricos cuja emissão deverá cobrir essencialmente duas bandas na gama do espectro de infravermelhos - de 3 a 5  $\mu\text{m}$  e de 8 a 14  $\mu\text{m}$  (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).

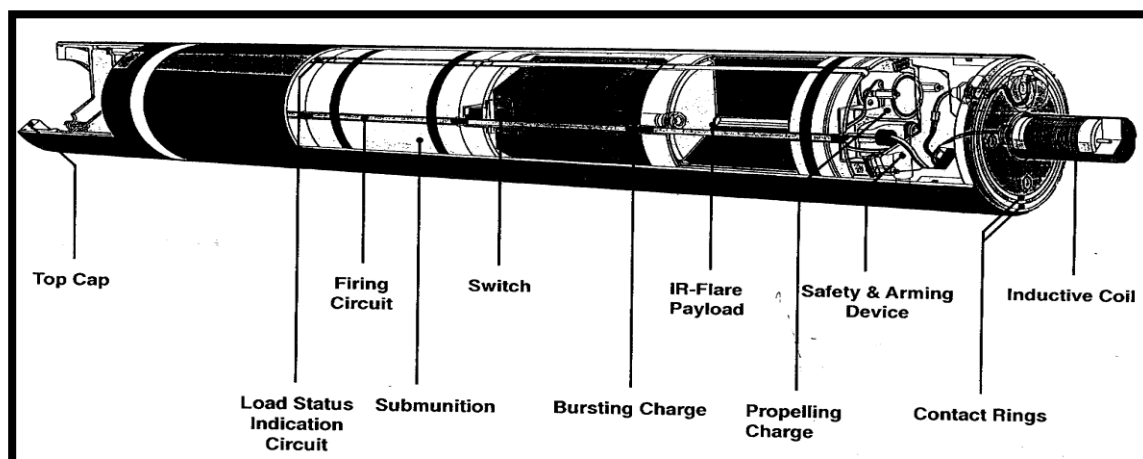


Figura 14 - Constituição de uma munição MK 245 *Flare* IR (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).



A detonação de cada carga ocorre a uma distância e altura predeterminadas. As submunições são armadas a uma distância de 20 metros e o lançamento entre elas pode ser variado entre 2 e 20 segundos, conforme descrito na Tabela 5 (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.) .

**Informação classificada**  
Consultar anexo A, página A-2,  
tabela A-4.

Tabela 5 – Dados Operacionais da munição MK 245 *flares* IR (Armada, PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos, s. d.).





### 3. Modelação e Simulação

#### 3.1 Introdução à Modelação e Simulação

A modelação e a simulação tornaram-se ferramentas extremamente úteis com os avanços tecnológicos na área da informática ocorridos desde a década de 80 do século passado, devido à necessidade de processamento de informação de uma forma mais rápida e mais precisa (Pina, s.d.). Os aspetos mais importantes desta evolução foram o aumento da capacidade de processamento, o desenvolvimento de sistemas operativos mais acessíveis e amigáveis para os utilizadores, a criação da Internet, a diminuição do consumo de energia, entre outros (Gadelha, s.d.). Na verdade, sem esta evolução tecnológica, a ideia de simularmos cenários - neste caso de defesa aérea - apesar de não ser impossível, era bastante limitada. Assim, a tecnologia é a nossa maior aliada, já que, sem ela, a modelação propriamente dita seria difícil de alcançar (Niemeyer, 2003).

Estas duas ferramentas – a modelação e a simulação – têm uma relação de custo-eficácia bastante positiva, de modo que, tendo em conta o seu custo, trazem mais-valias em termos de análise, interpretação e conceção de novas teorias com base na experimentação. Considerando o problema desta dissertação, verifica-se que o custo de aquisição de munições *chaff* S (aproximadamente 5.000,00€ unitariamente) e D (aproximadamente 30.000,00€<sup>8</sup>) não esquecendo a despesa de ter uma unidade a navegar (uma fragata a navegar com regime de motores, com uma média 170 homens tem o custo de aproximadamente 14.325,00€ por dia), face ao custo de aquisição do *software* SADM (aproximadamente 180.000,00€), acaba por ser mais dispendioso, uma vez que o SADM permite a execução de infinitas simulações de lançamento de *chaff*, sem custos, à exceção da sua aquisição. Tomando o caso dos EWT de 1999, em que o navio ficou três dias no mar, consumindo apenas três munições de *chaff* D e três de *chaff* S, verifica-se que o valor total (tendo em conta os valores previamente apresentados) do custo da missão é de cerca de 148.000,00€. Comparando com o custo da aquisição do SADM, conclui-se que a relação custo-eficácia deste é bastante positiva, tornando-se uma vantagem também a nível económico.

Atualmente, e tendo em conta a relevância da ameaça proveniente dos ASM, é importante ter conhecimento do tipo de táticas que podem ser empregues em cada situação

---

<sup>8</sup> De acordo com a tabela de valorização do SAN

específica, ou seja, é importante fazer uma previsão do que é possível de acontecer e refletir sobre a melhor reação a este tipo de situação. Devido à velocidade dos meios aéreos (aeronaves, mísseis), é de extrema importância que a reação do navio face ao ataque desta ameaça seja pré-planeada, garantindo assim uma maior probabilidade de sobrevivência. No entanto, para desenvolver uma resposta pré-planeada, é necessário conhecer o tipo de ameaça e saber quais as contramedidas mais adequadas para a destruir ou neutralizar, e assim sucessivamente, como num ciclo (Camille, et al., 2007).

A utilização da M&S oferece várias vantagens. São ferramentas relativamente fáceis de utilizar que permitem a repetição de várias simulações, alterando parâmetros-chave e, conseqüentemente, obtendo diferenças nos resultados. Estas simulações têm custos reduzidos - apenas o custo inicial da obtenção do programa e da renovação da licença -, pelo que é possível efetuar infinitas simulações sem existir preocupação financeira (Niemeyer, 2003).

Por tudo o que já foi referido anteriormente, a utilização da simulação e modelação está a tornar-se cada vez mais usual dentro do ambiente de defesa da NATO. O que começou por ser a criação e o desenvolvimento de jogos de guerra, recorrendo a um tipo de simulação que requer um processo de tomada de decisão (típico do Homem), é hoje um dos métodos utilizados para se obter conhecimento e desenvolver doutrina tática (Niemeyer, 2003).

Law e Kelton (2000) afirmam que os estudos de sistemas podem ser efetuados de duas maneiras principais, tal como se pode verificar na Figura 15.

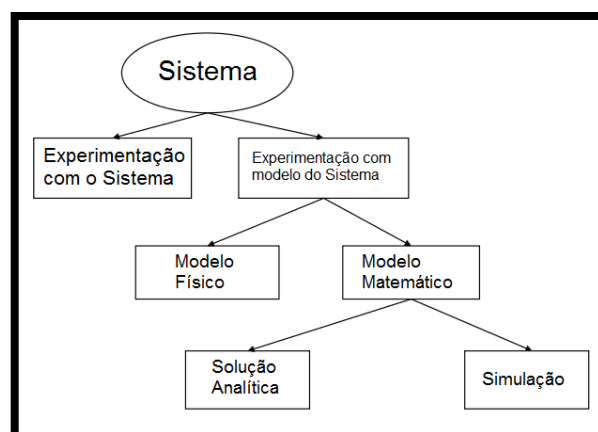


Figura 15 – Classificação do estudo de sistemas (Law & Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2000; Law & Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2000).





A intervenção direta nas rotinas operacionais do sistema consiste na implementação ou alteração do modo de operação do sistema, para se alcançar uma situação ideal. Consequentemente, este tipo de procedimento requer a experiência do profissional, de modo a que o processo de tomada de decisão não tenha um impacto negativo na performance do sistema. O principal ponto negativo deste tipo de abordagem é o elevado custo em tempo e dinheiro da utilização repetida do sistema real e, por isso, apesar de a aprendizagem só ser possível ao cometer erros, não se deve aplicar o método tentativa e erro (*trial and error*) quando é utilizado um sistema real de alto valor económico (Silva, 2006).

A recolha de informação e a posterior criação de uma imagem ou modelo que representa uma fração de um ambiente real é fundamental para o desenvolvimento do intelecto/conhecimento humano. Só ao experimentar e manipular os modelos criados, é possível determinar as soluções correspondentes aos objetivos definidos.

Assim sendo, os modelos podem ser classificados em três categorias: modelos mentais, físicos ou simbólicos (Neelamkavil, 1987). Os modelos mentais, como o próprio nome indica, são baseados em questões interiores, uma vez que existem apenas na mente do tomador da decisão. Os modelos deste tipo são geralmente confusos, complexos, imprecisos e de difícil comunicação, porque a estruturação do modelo está diretamente relacionada com o nível de conhecimento do decisor sobre o sistema em questão. Atualmente, já existem programas de computador cuja finalidade é a transcrição do modelo mental, utilizando para isso diversos cenários e perguntas organizadas de modo a induzirem o utilizador a tomar uma decisão (Silva, 2006).

Já um modelo físico consiste numa descrição do sistema real concebendo, para isso, uma representação análoga ou construindo um protótipo do mesmo, e neste último caso, os estudos da avaliação do sistema são realizados através de vários testes que empregam o protótipo (Neelamkavil, 1987).

Por fim, os modelos simbólicos são classificados como descritivos ou matemáticos. Os modelos não-matemáticos podem, por sua vez, ser a descrição linguística, a elaboração de um gráfico ou a representação esquemática do uso de recursos (Neelamkavil, 1987).

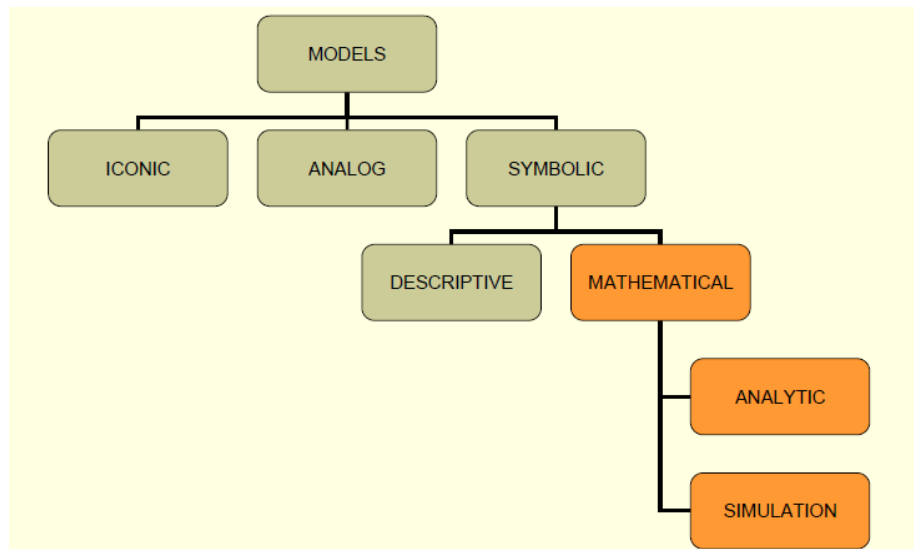


Figura 16 – Classificação dos modelos segundo Neelamkavil (1987).

Representados na figura 16 estão também os modelos matemáticos, classificados como analíticos ou simulação.

Os modelos matemáticos com soluções analíticas consistem na composição de equações matemáticas especificamente destinadas à solução de um tipo de problemas (Silva, 2006). Temos como exemplo deste tipo de modelos a regressão linear, em que os resultados são obtidos ao resolver analiticamente as equações relativas ao problema.

Relativamente às simulações, estas resultam da utilização de um conjunto de equações para descrever um determinado processo, utilizando valores concretos. A aplicação destas equações com valores concretos é feita normalmente com um programa de computador. Existem vários tipos de programas e linguagens que são usados nestes casos, entre eles as linguagens de programação (p. e. FORTRAN, C e PASCAL), e as linguagens de simulação (p. e. SLAM, GPSS, ARENA, EXTEND) (Silva, 2006).

Os modelos matemáticos para a simulação são normalmente representados como uma função  $f$  que produz uma saída  $y$  a partir de  $x$  entradas e parâmetros do sistema  $p$ , como representado na figura 17. Assim  $y = f(x, p)$ . Os fatores  $y$ ,  $x$  e  $p$  podem ser uma variável única, um vetor ou uma matriz (Silva, 2006).

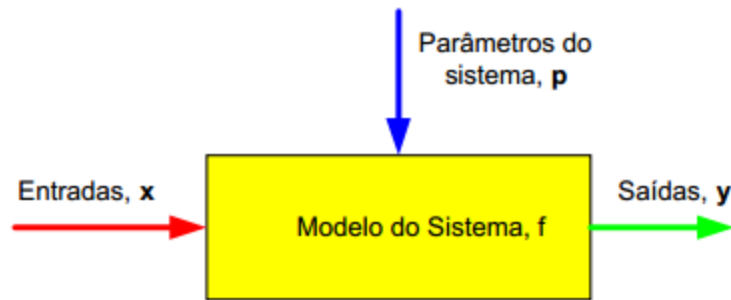


Figura 17 - Representação da função  $y = f(x, p)$  como um modelo de simulação (Silva, 2006).

Uma simulação pode então ser definida como a aplicação dinâmica de um modelo concebido para um determinado propósito, em que a sua credibilidade e/ou aceitação dos resultados podem ser determinados por três fatores: pelos objetivos de investigação, pelo modelo usado e pela reprodutividade dos resultados.

Importa, também, referir que os modelos matemáticos de simulação podem ser classificados, em termos académicos, de três maneiras diferentes (Law & Kelton, *Simulation Modelling and Analysis*, 1991):

- Modelos estáticos ou dinâmicos – Os modelos estáticos são aqueles que possibilitam a descrição do estado do sistema somente num determinado sendo que normalmente não envolvem a variável tempo. Já os modelos dinâmicos são formulados com o objetivo de representar o estado do sistema em função da variável tempo.
- Modelos estocásticos ou determinísticos – São modelos estocásticos os que possuem pelo menos uma variável de entrada ou parâmetro do sistema tipificado como variável aleatória (isto é, de um ou mais fatores cujo comportamento não é conhecido com certeza), ao passo que nos modelos determinísticos não são utilizadas variáveis aleatórias.
- Modelos contínuos ou discretos – Ambos os modelos utilizam a variável tempo. No entanto, enquanto nos modelos contínuos o avanço do tempo realiza-se de forma contínua em incrementos de tempo com valores iguais (p. e. um modelo de simulação do voo de uma aeronave, cujo objetivo é reportar a cada minuto os valores das variáveis que descrevem o estado do sistema: latitude, longitude,



altitude e nível atual de combustível), nos modelos discretos o avanço da variável tempo é dependente diretamente do acontecimento de um evento. Consideremos, por exemplo, o caso da modelação de um método de resposta a uma ameaça por ordem de chegada em que podem ser considerados três eventos: detecção da ameaça, ataque (*engage*) e destruição/evasão da ameaça, conforme apresentado na Tabela 6.

Valor da variável Tempo (h)	Eventos	Variáveis para descrever o estado do sistema		
		Nº ameaça		
		Destruídos/evadidos	Por atacar	A serem atacados
9:00:00	Começo guerra	0	0	0
9:00:01	Deteção ameaça 1	0	1	0
9:00:02	Ameaça 1 em <i>engage</i>	0	0	1
9:00:03	Deteção ameaça 2	0	1	1
9:00:04	Deteção ameaça 3	0	2	1
9:01:05	Deteção ameaça 4	0	3	1
9:01:06	Deteção ameaça 5	0	4	1
9:01:07	Ameaça 1 destruída	1	4	0
9:01:08	Ameaça 2 em <i>engage</i>	1	3	1
9:10:09	Ameaça 2 destruída	2	3	0
9:10:10	Ameaça 3 em <i>engage</i>	2	2	1
9:10:11	Ameaça 3 em evasão	3	2	0
9:10:12	Ameaça 4 destruída	4	1	0
9:10:13	Ameaça 5 em <i>engage</i>	4	0	1
9:10:14	Ameaça 5 destruída	5	0	0

Tabela 6 - Exemplo de um caso da modelação de um método de resposta a uma ameaça (Menúrias, 2012).

Com base no que foi descrito anteriormente, pode concluir-se que o SADM é um modelo simbólico matemático de simulação. Pode ainda dizer-se que o SADM tem características de modelo estocástico (uma vez que possui parâmetros de entrada classificados como aleatórios) e de modelo discreto, já que o avanço da variável tempo



depende diretamente do acontecimento de um evento (neste caso o disparo do míssil e toda a sucessão de eventos consequentes).

### 3.2 Estruturação de modelos de simulação

Normalmente os modelos matemáticos de simulação têm em consideração quatro fatores, que são tidos em conta pelas linguagens e pacotes de simulação. São eles (os fatores), as características dos elementos do sistema, as variáveis de entrada, as medidas de performance do sistema, a relação funcional dos elementos dos sistemas e do sistema com o meio externo (Silva, 2006).

Assim, segundo Silva (2006) e de acordo com a Figura 18, o desenvolvimento de um modelo de simulação segue as seguintes etapas:

1. Reconhecer o problema – ou seja, identificar todos os factos e aspetos que se pretendem estudar para que estes sejam considerados na formulação do modelo.
2. Formular o problema – esta etapa implica vários procedimentos entre eles, seleccionar os elementos de interesse no estudo a ser realizado, definir os objetivos do estudo, seleccionar o conjunto de parâmetros de medida de performance do sistema, estabelecer o horizonte de tempo e identificar os desejos do utilizador.
3. Obter e analisar dados do sistema – neste passo os valores das variáveis de entrada, os parâmetros do sistema e as medidas de performance devem ser revistos e através da análise estatística, os dados serão caracterizados. No caso das variáveis aleatórias poderão ser definidos tipos de distribuições mais apropriadas para as descrever.
4. Formular e desenvolver o modelo – a formulação do modelo conceptual deverá ser realizada através da representação gráfica, sendo de seguida traduzido em relações lógicas e matemáticas para tomar a forma de modelo computacional.
5. Verificar e validar o modelo – na verificação certifica-se que as rotinas computacionais implementadas geram os valores esperados. A validação consiste na comparação dos dados gerados pelo modelo com os obtidos pelo sistema real, usando para tal procedimentos estatísticos.
6. Documentar o modelo – durante o desenvolvimento do modelo, o programador deve elaborar relatórios que contenham detalhes relevantes, tais como: os objetivos,

suposições consideradas e detalhes do desenvolvimento das rotinas computacionais, de modo a facilitar procedimentos futuros.

7. Definir o tipo de experiências – nesta fase deve-se estabelecer os níveis de confiança das variáveis de entrada e parâmetros do sistema consoante os resultados gerados pelo modelo.
8. Estabelecer as condições de uso – por fim, através das experiências realizadas são definidas as condições do uso do modelo, em que este seja aplicável.

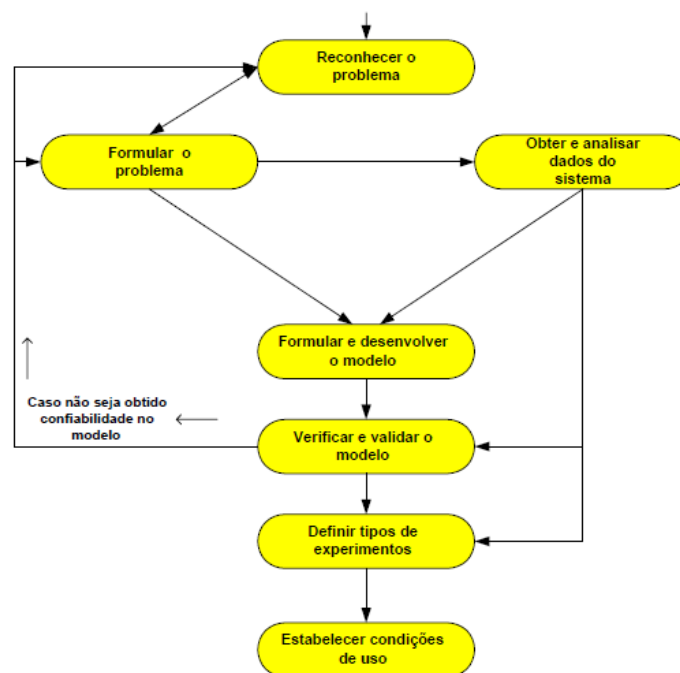


Figura 18 - Processo de implementação dos modelos de simulação (Silva, 2006).

Após a conclusão do processo de implementação dos modelos de simulação, podem conduzir-se certo tipo de experiências relativas ao modelo, com a finalidade de o melhorar. Estas experiências podem ser a análise de sensibilidade, comparação de cenários, otimização, ou simulações de Monte Carlo (Monte Carlo *Trials*).

A análise de sensibilidade consiste na alteração do valor de um ou mais parâmetros de entrada do modelo e verificar o impacto nos valores das variáveis de saída (Silva, 2006).

Quando se pretende comparar diferentes configurações, a experiência a efetuar deve, então, ser a comparação de cenários, onde se consegue determinar a configuração mais adequada aos desejos do utilizador.



A otimização do modelo consiste na determinação, da configuração e/ou forma de operação do sistema que traz melhor desempenho, tanto em termos técnicos como em económicos (Silva, 2006).

A simulação de Monte Carlo é aplicada a modelos do tipo estocástico (ou seja, possuem pelo menos uma variável de entrada ou parâmetro do sistema tipificado como variável aleatória, tal como referido anteriormente). Neste caso, o comportamento das variáveis aleatórias é descrito por uma distribuição de probabilidade (Moore & Weatherford, 2001). Esta simulação utiliza a geração de números aleatórios para atribuir valores às variáveis que se deseja investigar. Para tal, é necessário correr o modelo várias vezes e, de seguida, analisar estatisticamente os resultados gerados. Assim, para determinada variável, será possível indicar com precisão as probabilidades de ocorrência de certos valores (Moore & Weatherford, 2001).

### **3.3 Simulações de Monte Carlo (Monte Carlo *Trials*)**

As simulações de Monte Carlo ficaram assim conhecidas devido à similaridade existente entre os processos estatísticos e os jogos de azar, durante uma visita a casinos no Mónaco. Este método foi desenvolvido por Stanislaw Ulam, um matemático australiano, ao tentar simular a difusão de neutrões em material nuclear para a construção da bomba atómica, durante a Segunda Guerra Mundial. Apesar disso, este método só foi implementado anos mais tarde com o auxílio de John Von Neuman, um dos primeiros cientistas da computação. Este tipo de simulação é utilizado em diversas áreas, desde a economia, à física nuclear e até à regulação do fluxo de tráfego (Mendes, 2007).

Este processo é uma ferramenta de simulação estatística que, utilizando métodos de amostragem, resolve problemas de natureza estocástica ou determinística. O objetivo deste método é, recorrendo a amostras aleatórias de determinadas variáveis, obter resultados numéricos heurísticamente, isto é, através do funcionamento do programa inúmeras vezes (quantas mais vezes o programa é corrido, mais aproximado é o resultado), obtendo-se assim a probabilidade de acontecimento dessas variáveis cujos valores foram aleatoriamente escolhidos (Lazo, 2008).

Diversos autores, incluindo Kailash Awati, utilizam a analogia com um jogo de dardos para uma melhor explicação do funcionamento da simulação de Monte Carlo.

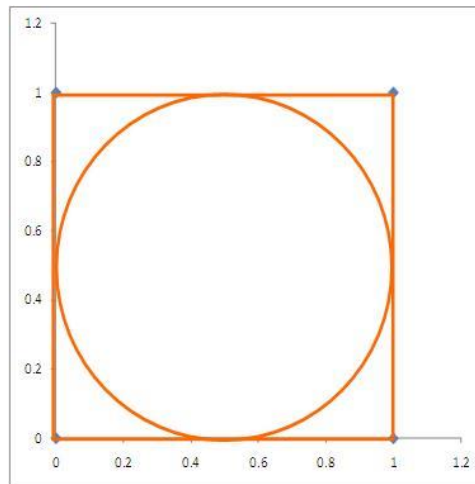


Figura 19 – Representação do quadro de dardos

É necessário considerar três pressupostos:

- Os dardos caem em qualquer sítio do quadrado com a mesma probabilidade;
- O quadrado tem 1 unidade de lado, tal como representado na figura.
- Considera-se “ponto” sempre que o dardo acerta dentro do círculo.

Para se simular os resultados, é necessário gerar aleatoriamente pares de números  $(x,y)$  representando a posição do quadrado onde caem os dardos. Em apêndice está a tabela relativa a esta experiência, sendo constituída por cinco colunas, como representadas na figura abaixo.

	A	B	C	D	E
1	x	y	Posição no quadrado	Ponto	Experiências
2	0.410291	0.644578	0.028950643	1	1
3	0.831407	0.442543	0.113132164	1	1
4	0.84616	0.899774	0.279646409	0	1
5	0.133232	0.849206	0.25646317	0	1
6	0.085938	0.694185	0.209155174	1	1

Figura 20 – Extrato da tabela com os dados da experiência dos dardos.

As colunas A e B geram aleatoriamente (através da função =ALEATÓRIO() do Excel) números para o par  $(x,y)$ ; a coluna C calcula a posição do dardo, no quadrado





através da equação do círculo de centro (a,b) (neste caso, 0,5;0,5), não entrando com o valor do raio, uma vez que há a possibilidade de a posição ser fora do círculo:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 \Leftrightarrow (x - 0.5)^2 + (y - 0.5)^2$$

Equação 1 – Equação do círculo (Raio = 0,5)

A coluna D serve para analisar se a posição do dardo dentro do quadrado está inserida no círculo ou não (a hipótese “ponto” é representada por um 1, e a hipótese “fora do círculo” é representada por um 0).

Chega-se a essa conclusão verificando se a posição onde caiu o dardo se encontra dentro do círculo ou não, ou seja:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 \leq r^2 \Leftrightarrow (x - 0,5)^2 + (y - 0,5)^2 \leq 0,25$$

Equação 2 – Equação do círculo

Se o resultado obtido na coluna C for menor ou igual que 0,25 (ou seja, o dardo caiu dentro círculo) a coluna D assume o valor 1. A coluna E contabiliza o número total de experiências efetuadas.

Tendo em conta que a probabilidade de fazer um ponto é aproximadamente igual à razão entre o número de dardos que caíram dentro do círculo e o número total de experiências efetuadas, podemos verificar que, segundo a tabela constante do apêndice B<sup>9</sup>, para 1000 iterações, a probabilidade de acertar no círculo (isto é, fazer “ponto”) é de 0,813.

<sup>9</sup> Sendo uma tabela meramente informativa, e devido à grande quantidade de iterações feitas (mil), no Apêndice B, só estarão disponíveis as primeiras cem iterações, bem como as últimas cem iterações.

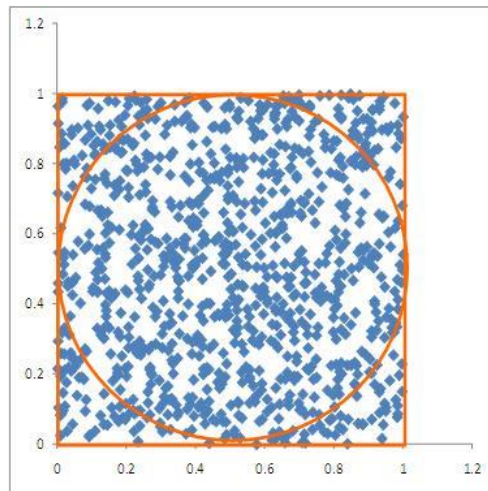


Figura 21 – Resultado para 1000 iterações.

O estudo das probabilidades também nos indica que quanto maior for o número de experiências, mais preciso é o valor da probabilidade.

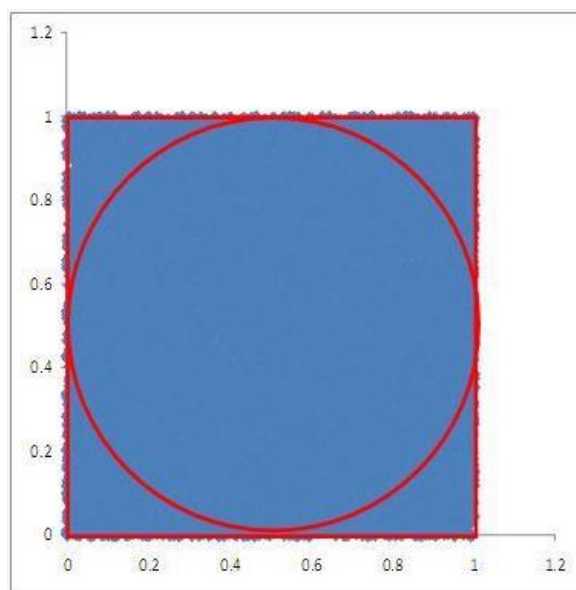


Figura 22 – Resultados para 16000 iterações.

Tendo em conta o último parágrafo e a figura acima representada, podemos concluir que a probabilidade exata de se fazer “ponto” é a razão entre a área do círculo e a área do quadrado, que neste caso é 0,78539816. Ao verificar que o quadrado ficou quase todo sombreado a azul com 16000 iterações, é intuitivo que quanto maior for o número de experiências, mais aproximado será o valor da probabilidade.



Assim, podemos resumir o método de Monte Carlo a 4 etapas fundamentais:

1. Definir o domínio possível de variáveis – neste caso, o domínio é o quadrado de lado 1.
2. Gerar variáveis aleatoriamente usando uma distribuição de probabilidades específica – neste exemplo a distribuição de probabilidades é um par de número aleatórios independentes e uniformemente distribuídos entre 0 e 1.
3. Realizar o algoritmo usando as variáveis aleatórias – este cálculo determina se o lançamento foi ponto ou não.
4. Agregar os resultados individuais para o resultado final – este passo corresponde ao cálculo da probabilidade.

O SADM utiliza as MCT para que os resultados obtidos sejam tão aproximados quanto possível. Este processo baseia-se no facto de cada MCT gerar valores novos aleatoriamente para determinadas variáveis, tal como foi explicado anteriormente. Conclui-se facilmente que quantas mais MCT forem realizadas, mais aproximado é o resultado final.

No entanto, um elevado número de MCT implica que o programa demore muito tempo a apresentar resultados (por exemplo, para o número máximo de MCT permitidas no SADM – 9999 – o programa demorou aproximadamente duas horas e trinta minutos a apresentar o resultado de uma simulação básica de *softkill*).





## 4. O Ship Air Defence Model

### 4.1 Objetivos e capacidades do programa

A guerra antiaérea consiste em todas as medidas tomadas para a defesa de uma força de ataques levados a cabo com armas aéreas, podendo estas ser lançadas de aeronaves, unidades de superfície, submarinos ou até baterias em terra.

Nestes termos, o SADM consiste num programa de simulação de defesa antimíssil que permite o uso de *softkill* com engodos, *decoys* ou *jammers*, ou de *hardkill* com mísseis peças de artilharia, incluindo *Close-in Weapon Systems* (CIWS<sup>10</sup>). O programa permite, também, simular as interações que ocorrem entre o *hardkill* e o *softkill* quando estes são usados simultaneamente (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

O SADM como é conhecido atualmente derivou do *software* australiano *Anti-Ship Capable Missile Engagement Model*, originalmente criado pela divisão de Guerra Eletrónica da Organização de Defesa, Ciência e Tecnologia da Austrália. Após sofrer um desenvolvimento exaustivo e um aumento das suas capacidades, passou, então, a ser denominado *Ship Air Defence Model*. A estrutura frontal do programa foi escrita em MATLAB<sup>11</sup>, apresentando uma interface ao utilizador que lhe permite introduzir a informação do cenário que este pretende criar e apresentar os resultados finais. A parte computacional foi escrita e estruturada em Fortran 95 e é o que permite efetuar a simulação (Chapman & Benke, 2004).

Na versão do modelo em estudo (versão 4.1.5.7) é possível simular até 10 navios (cada um com as suas especificidades de sensores e armamento), 10 aeronaves, 50 mísseis *sea-skimming*<sup>12</sup>, 10 baterias de mísseis colocados em terra e cerca de 100 contactos aéreos e de superfície com capacidade de serem manipulados livremente (Vethecan, 2009). Para além disto, o SADM tem a capacidade de correr num computador normal, permitindo

<sup>10</sup> CIWS designa o termo em inglês para *Close-In Weapon System*. Este tipo de armamento consiste num sistema de defesa próxima contra mísseis, dispondo de radares incorporados para fazerem a pesquisa e o seguimento, associados a uma arma, que possibilita a destruição física da ameaça.

<sup>11</sup> MATrix LABoratory consiste num *software* interativo de alta performance dedicado ao cálculo numérico (Janke, 2013).

<sup>12</sup> Manobra terminal de mísseis (ou aeronaves), em que estes voam o mais próximo possível do mar, recorrendo a dados do altímetro, de modo a reduzir a probabilidade de deteção por parte do navio (NSA, ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual, 2005).



produzir resultados em pouco tempo e sem a necessidade de *hardware* muito dispendioso (Chapman & Benke, 2004)

O SADM calcula inúmeras formas de eficácia, tais como a probabilidade da sedução do *softkill* (Psd), a probabilidade de sobrevivência do navio recorrendo somente a *softkill* (PS,sk), a probabilidade de sobrevivência do navio recorrendo somente a *hardkill* (PS,hk) e a probabilidade de sobrevivência do navio recorrendo a todos os seus sistemas de defesa aérea (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Este modelo permite simular todas as situações supracitadas, em ambiente de mar aberto ou em situação de navegação em águas litorais, tendo, para isso, capacidade de carregar ficheiros digitais de elevação terreno, que integram posteriormente os modelos de propagação RF. Além disso, podem ser simuladas interações entre 3 equipas de forças, em que cada uma pode incluir dispositivos de navios, aeronaves, mísseis antinavio, e baterias em terra. Os navios podem ser modelados de modo a possuírem uma variedade de sensores (radares de pesquisa, equipamentos ESM, entre outros) *hardkill*, *softkill* e sistemas de comando e controlo que coordenam todos estes equipamentos. É, também, possível criar HVUs<sup>13</sup> e vários navios escoltas num grupo tarefa. Ao ser criado um cenário, o utilizador está a definir uma combinação específica de unidades navais, ameaças e condições atmosféricas (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Definidas estas variáveis, o cenário é executado, obtendo-se assim os resultados que podem ser analisados e/ou gravados para serem reutilizados ou alterados (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

O utilizador pode definir as características de cada objeto constituinte do cenário (através da GUI<sup>14</sup>), ou, simplesmente, carregar um ficheiro que reúne essas características.

<sup>13</sup> *High Value Unit* - unidade valiosa objeto de proteção pelos navios e força naval (NSA, ATP-1 (E) vol. I - *Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures*, 2010)

<sup>14</sup> *Graphical User Interface* – é a janela de interface do utilizador (Moya, 2013)

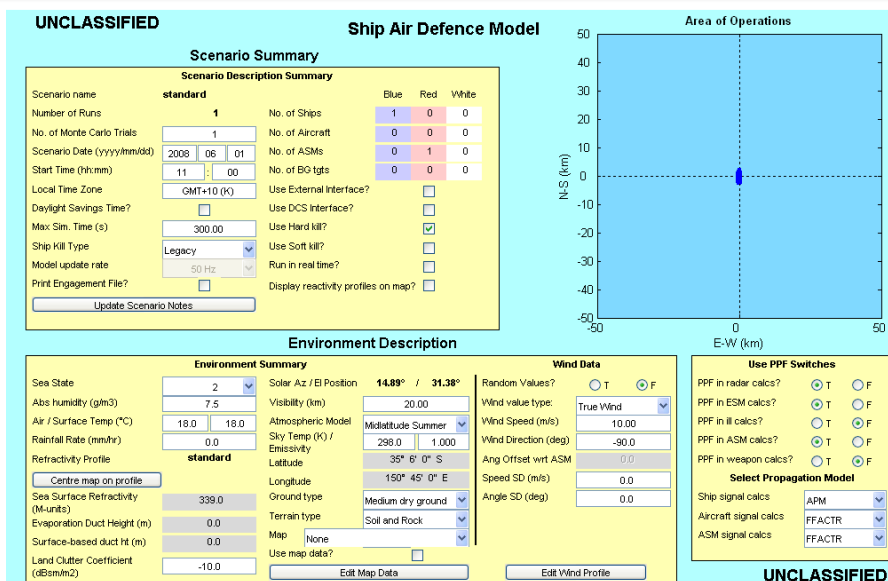


Figura 23 – Janela de interface com o utilizador (GUI) inicial, onde se definem alguns parâmetros.

O SADM permite a simulação de diversos tipos de cenários em ambientes de guerra antiaérea. Assim, e consoante o tipo de cenário que o utilizador quer simular, existem características que têm que ser parametrizadas. Por exemplo, para um cenário em que o utilizador só quer utilizar *softkill* é necessário modelar os engodos que vão ser utilizados, bem como os lançadores. No entanto, existem outras características que são generalizadas e por isso, devem ser modeladas em todos os tipos de cenário, por exemplo, o número de navios da força, tipo de ameaça, características físicas do navio, entre outros.

Após estas características estarem definidas, o utilizador realizou uma *run*. A partir deste ponto, se o utilizador desejar alterar alguma característica pode fazê-lo, sendo que está a efetuar uma nova *run*. O exemplo utilizado no manual de instruções do programa é o facto de, após ter sido elaborada uma *run*, se querer estudar o mesmo cenário para quatro valores de velocidade do vento diferentes. Assim, neste caso, o cenário terá quatro *runs*. Para além disso, o utilizador quer estudar esse cenário de modo a que o vento seja proveniente de cinco direções diferentes. Neste caso passamos a ter um cenário com vinte *runs*. Um cenário pode conter até 9999 *runs* (Chapman S. , Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory., 2010).

Depois de definir o cenário base e as respetivas variações, o utilizador pode especificar a quantidade de simulações de Monte Carlo que quer realizar por cada *run*, sendo que aproximadamente 35 valores são inicializados aleatoriamente por cada simulação de Monte Carlo. O cenário é então submetido a um modelo computacional para

execução e os resultados são posteriormente apresentados em vários gráficos que demonstram não só o comportamento do navio entre *runs*, mas, também, algum comportamento em particular que possa ter acontecido numa *run* específica. Estes resultados mostram inicialmente uma dimensão macro, contudo, também é possível observá-los a uma escala micro, para se conseguir determinar o que é que influenciou um determinado resultado numa determinada *run* (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Em suma, cada cenário é constituído por, no máximo, até 9999 *runs*, e cada *run* é constituída por, no máximo, até 9999 *Monte Carlo Trials*.

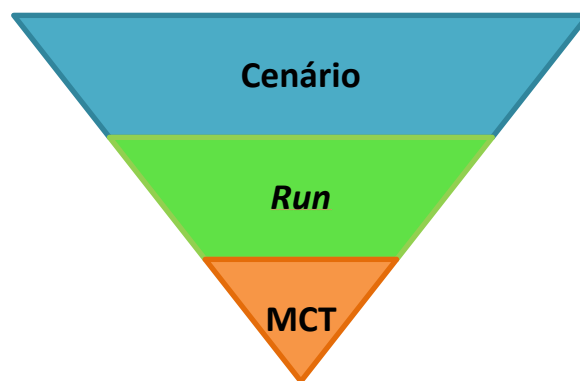


Figura 24 – Constituição de um cenário base do SADM

## 4.2 Funcionamento do programa

O SADM é constituído por aproximadamente 460000 linhas de código estruturadas em FORTRAN 95 e C++<sup>15</sup> que permitem efetivar as operações anteriormente descritas. O código corre independentemente da janela GUI e, conseqüentemente, é possível executar vários cenários, enquanto o utilizador usa a janela de interface para outras tarefas (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Existe um conjunto de objetos passíveis de serem modelados e que, conseqüentemente, vão constituir o cenário (p.e. os navios, *sites* em terra, aeronaves, mísseis antinavio, entre outros). O cenário é a unidade básica de execução do programa e

<sup>15</sup> Fortran 95 e C++ são dois tipos de linguagem de programação usados para construir/desenhar programas (Compact Fortran 95 Language Summary, 2009)



ocupa o lugar mais elevado da hierarquia relativa aos objetos, representada na figura 25. Ao definir as características inerentes aos objetos que se quer simular, estamos a criar um cenário e sempre que este é carregado ou guardado todos os objetos subordinados a esse cenário também são automaticamente carregados e/ou guardados (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

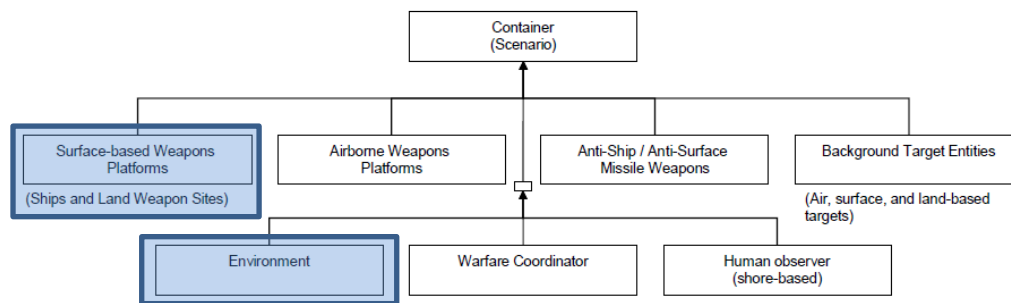


Figura 25 – Hierarquia de objetos para o SADM onde se encontram evidenciadas as plataformas em uso para esta investigação (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Os quatro tipos de plataformas evidenciados na figura 25, dividem-se por sua vez em subsistemas, representando os sensores, armas e componente de comando e controlo que são necessárias para definir as capacidades funcionais de cada tipo de plataforma (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

A figura 26 ilustra os subsistemas existentes relativamente à plataforma “navio/site em terra”.

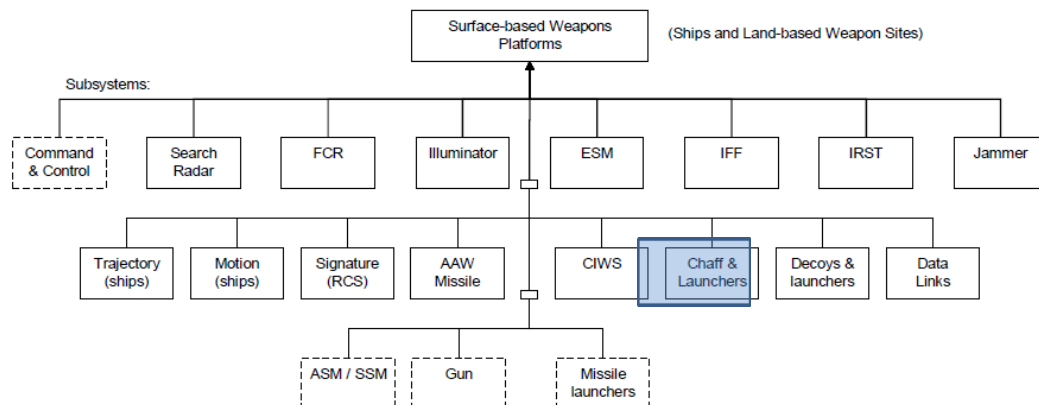


Figura 26 – Subsistemas das plataformas de superfície (navios e sites em terra) (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Quando um objeto é carregado (ou guardado) no programa, todos os dados inerentes aos seus subsistemas também são carregados. Consequentemente, a maioria destes objetos podem ser guardados independentemente.

Os modelos referentes ao ambiente (*environment*) consistem em dados atmosféricos, vento, terreno e condições de propagação de frequências RF e IR. Uma vez que o terreno tem um grande efeito na propagação de ondas RF, este tipo de informação pode ser carregada no SADM com recurso aos mapas DTED<sup>16</sup> (*Digital Terrain Elevation Data*).

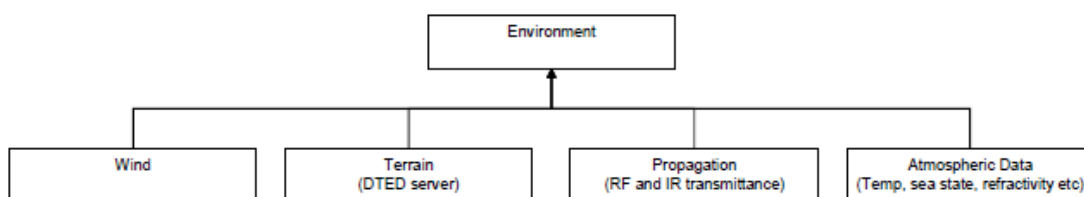


Figura 27 - Modelo ambiental e o seu subsistema (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Para além das plataformas básicas que podem ser definidas e caracterizadas, o SADM implementa também um número de componentes funcionais que apoiam a operação das plataformas e do modelo como um todo. Estes componentes são

<sup>16</sup> No litoral a orografia afeta muito a propagação RF. Os mapas DTED são usados para uma representação mais fiel da realidade uma vez que a inserção destes mapas alterará o modelo de propagação RF, adaptando-o às condições que se fazem sentir (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).



denominados como “objetos de serviço” uma vez que são usados em mais de um tipo de plataformas (p. e. gestão da monitorização, modelo de sinal ASM, modelos de vulnerabilidade e letalidade, cursos de ação).

O ciclo de tempo básico do modelo é o intervalo de integração de um navio, do *seeker* do míssil ameaça e do início da simulação de contramedidas, com uma taxa de atualização de 50 Hz (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). No início de cada intervalo de integração, a posição do navio e das restantes variáveis (como nuvens de *chaff*, *jammers*, armas, aviões, entre outros) são atualizadas. No final do ciclo, o modelo calcula a potência que o *seeker* do míssil ameaça recebe do eco do navio, bem como das contramedidas associadas, construindo assim um envelope de alcance do míssil. Após este processo o *seeker* supracitado faz o seguimento em distância e azimute do sinal recebido, isto é, um seguimento por LOS<sup>17</sup> (*line-of-sight*), indicando ao modelo de controlo do corpo do míssil a sua posição, que vai sendo atualizada com base nos erros em distância e em azimute. Este processo é repetido até que o míssil seja neutralizado (ou é destruído, ou acaba o combustível ou então atinge o CPA<sup>18</sup> ao navio) (Chapman & Benke, 2004).

A distância máxima a que um míssil pode provocar danos a um navio é definida através de um raio centrado no mesmo, servindo de referência para o modelo determinar se o míssil atinge o navio ou não. Para isto, o modelo vai analisar o CPA do míssil ameaça - se este for inferior ao raio determinado considera-se que o míssil atingiu o navio; se por outro lado o CPA for superior, então o míssil falhou o navio. O estado dos sensores do navio é atualizado uma vez por cada ciclo, revelando as suas deteções de contactos e respetivas atualizações, e que posteriormente envia para o sistema de C2<sup>19</sup> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

O modelo de C2 contém duas componentes principais, sendo que a primeira processa a deteção inicial de contactos, classificando-os e processando o lançamento de contramedidas automáticas (caso o navio modelado disponha desta função); a segunda

---

<sup>17</sup> *Line-of-sight* consiste num tipo de guiamento mísseis, com sistemas *remote guidance*. A técnica consiste em manter o míssil no enfiamento atirador - alvo (LOS), corrigindo qualquer desvio cometido pelo mesmo em relação aquela linha. Como a base de funcionamento é uma referência angular, o *seeker* não necessita de ser ativo (NSA, ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual, 2005).

<sup>18</sup> *Closest Point of Approach* (CPA), consiste num ponto estimado em que a distância entre dois objetos (um dos dois tem de estar em movimento) atinge o valor mínimo (Wales, *Closest Point of Approach*, 2013).

<sup>19</sup> Comando e controlo (NSA, ATP-1 (E) vol. I - *Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures*, 2010).



componente processa o seguimento num processo contínuo, tendo uma taxa de refrescamento 1 Hz. Tanto a função de controlo do sistema de armas (WCS<sup>20</sup>), que irá definir as prioridades de alvos a serem seguidos, como a gestão de seguimento do alvo para empenhamento de *softkill* e/ou *hardkill* estão atribuídas à segunda componente (Chapman & Benke, 2004).

O código do SADM foi elaborado de forma a preservar as interações existentes entre os vários sistemas do ambiente naval (p.e. quando um iluminador está apontado diretamente ao míssil ameaça, como parte do *hardkill*, o *seeker* do míssil vai receber um eco do navio maior, aumentado pela RCS<sup>21</sup> do iluminador) (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Os cálculos do sinal usam o modelo de propagação RF que considera fatores como a chuva e a elevação do terreno na determinação da potência do sinal que foi perdido entre o emissor e qualquer recetor (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

O SADM permite realizar múltiplas séries de interações - *batch run* - utilizando a simulação de Monte Carlo. Numa *batch run* os seguintes parâmetros podem ser ajustados (Chapman & Benke, 2004):

- Ameaça – número mísseis, azimutes de aproximação dos mísseis e distâncias diferentes de lançamento do míssil;
- Engodos (físicos/flutuantes) – quais os lançadores a utilizar;
- *Chaff* – quais os lançadores a utilizar, distância da abertura da nuvem, RCS;
- Radares de tiro – número de canais de fogo atribuídos ao alvo;
- Direção e velocidade do vento.

Assim, é possível adicionar mais de 200 navios, mudar a ameaça, as armas e os parâmetros dos engodos entre cada *batch run*. Porém, só é possível alterar os dados antes de uma *batch run* iniciar, sendo que no final, os resultados destas são visualizados graficamente (Chapman & Benke, 2004).

<sup>20</sup> *Weapon Control System* – este sistema interage com os diversos sensores e armas do navio (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

<sup>21</sup> *Radar Cross Section* – quantidade de energia eletromagnética refletida pelo navio. A RCS não é constante ao longo do navio, variando com as suas estruturas físicas. É maior nos aspetos de través e menor nos aspetos de proa e popa (NSA, ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual, 2005).



Os dados para um determinado cenário são introduzidos por subsistemas, isto é, os dados referentes ao navio - como as suas características físicas, entre outros - são introduzidos no subsistema do navio, assim como os dados referentes ao míssil ameaça são introduzidos no respetivo subsistema. Seguidamente serão descritos os subsistemas do modelo.

Subsistema de *Softkill* - Este subsistema é responsável pela simulação de engodos, tendo em conta a sua trajetória, a carga, entre outros; de *chaff*, relativamente à trajetória e características da nuvem, a RCS do alvo, etc.; e pelos *jammers* (Chapman & Benke, 2004). É relevante referir que o SADM distingue engodos de *chaff* (no SADM, engodos são especificamente objetos flutuante, ou outros, sem contemplar o *chaff*). Este subsistema foi crucial para o trabalho, uma vez que foi a partir dele que se construíram os modelos dos engodos. Este assunto será desenvolvido no capítulo 5 desta dissertação.

Subsistema *Hardkill* - Este subsistema é responsável por simular o perfil de voo, e a probabilidade de impacto dos mísseis, bem como a deteção e performance do CIWS (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Subsistema *environment* (ambiental) - Simula o estado do mar, as condições de propagação radar, condições de propagação na ionosfera e condições ambientais (Chapman & Benke, 2004). A partir deste subsistema foram introduzidos os dados relativos ao ambiente que se fez sentir aquando de cada série dos diversos *EW Trials*. Este subsistema (bem como a sua importância para esta dissertação) será desenvolvido no capítulo 6.

Subsistema *ship* (navio) - Neste subsistema está contemplado a trajetória do navio, o seu movimento (cabeceio, balanço e guinada – *pitch*, *roll* e *yaw*), a RCS, sistema de ESM<sup>22</sup>, sistema de seguimento por infravermelhos, IFF<sup>23</sup>, radares de tiro, capacidade de C2 e sistema de controlo de armas, entre outros (Chapman & Benke, 2004). Este é sem dúvida um dos subsistemas mais importantes para esta dissertação, já que será através dele que serão modeladas as plataformas a utilizar, neste caso, os navios da classe “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”. O subsistema *ship* será desenvolvido no capítulo 5, correspondente à parametrização.

<sup>22</sup> *Electronic Warfare Support Measures* – Medidas de apoio a nível da guerra eletrónica. Permite a deteção e identificação de transmissões radar nas proximidades do navio (NSA, ATP-1 (E) vol. I - Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures, 2010).

<sup>23</sup> *Identification Friend or Foe* – este sistema permite fazer a distinção entre aeronaves amigas e inimigas, reduzindo assim o risco de atingir uma unidade amiga (Chapman S. , *Identification Friend or Foe (IFF)*, s. d.).



Subsistema C2/WCS – Neste subsistema existe uma influência recíproca com todos os sensores e armas que existem no navio. O seu modo de funcionamento é baseado num processo de avaliação da ameaça designado *Threat Evaluation and Weapons assignment* (TEWA). O TEWA varia de navio para navio, e por esta razão o modelo de C2/WCS permite carregar as características de cada unidade naval através de uma *Dynamic Link Library* (DLL), aquando do início da simulação (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Este subsistema divide-se em duas componentes: uma componente ininterrupta e uma de planeamento. A componente ininterrupta executa ações após receber indicações exteriores, por exemplo, após a deteção inicial de um contacto, ou a deteção de uma emissão eletromagnética, esta componente atualiza a posição do contacto, classifica-o e inicia uma interrogação IFF, preparando (em caso de necessidade), uma contramedida utilizando *softkill* (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Por outro lado, a componente de planeamento tem como função definir as prioridades relativamente a todas as ameaças confirmadas, preparando também o empenhamento de *softkill*, *hardkill* ou de ambos (Chapman & Benke, 2004). Ao ser detetado um novo contacto, este é colocado em seguimento – o contacto passa a *in track*. Nesta componente as atualizações ocorrem a uma taxa de refrescamento de 1 Hz, sendo que é efetuada a atualização da posição do contacto, e avaliado se este constitui uma ameaça para o navio. Se o contacto representar ameaça, então é automaticamente classificado como potencial ameaça (*potential threat*). Uma vez preenchidos todos os critérios de ameaça, definidos anteriormente pelo utilizador, o modelo classifica-o como ameaça confirmada (*confirmed threat*), implicando o seguimento por radares de tiro. Este seguimento permite empenhar medidas *hardkill* ou *softkill*, quando tal for possível. Após o disparo é efetuada uma avaliação de danos: se esta avaliação for positiva significa que o alvo foi abatido, passando assim a *no track*; caso a avaliação seja negativa significa que o alvo não foi abatido, passando a *confirmed threat* novamente. Este ciclo repete-se até o alvo ser destruído, o míssil ficar sem combustível ou o míssil atingir o CPA (Chapman & Benke, 2004). A partir deste subsistema é possível definir, por exemplo, o momento de lançamento dos engodos, tendo em conta algum acontecimento (STO ou o *lock-on*, por exemplo), tendo essa finalidade sido utilizada nesta dissertação. Este subsistema será desenvolvido no capítulo 5, referente à parametrização.



Subsistema dos radares de vigilância - Este subsistema permite a modelação de radares 2D, 3D e radares *phased array*, sendo que os parâmetros que podem ser inseridos são a altura da antena, taxa de varrimento, resolução, tipo de processamento do sinal, probabilidade de deteção em função do RCS do alvo e a altitude do mesmo. O azimute inicial de pesquisa do radar é aleatório, variando em cada interação de Monte Carlo. No máximo é possível simular dois radares em simultâneo para cada navio, sendo que se o navio só possuir um radar 2D, só será fornecida informação das componentes x e y (azimute e distância) do alvo, levando a uma maior quantidade de tempo despendido por parte dos radares de tiro, na aquisição do alvo (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Para este subsistema serão utilizados os modelos dos radares de aviso aéreo DA08 e LW08, respetivamente para as fragatas das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”, previamente construídos pelo Segundo-Tenente Buinho Menúrias, aquando da elaboração da sua dissertação de mestrado (Menúrias, 2012).

Subsistema do perfil de voo das armas – É possível simular seis tipos de armas, cada um com um perfil de voo associado, por cada navio. O objetivo deste subsistema é modelar o comportamento de cada arma, como por exemplo, o PDMS (Chapman & Benke, 2004). No entanto, como esta dissertação trata apenas de *softkill*, este subsistema não foi utilizado.

Subsistema da ameaça – Neste subsistema é modelado o tipo de *seeker* do míssil ameaça, bem como o seu alcance, o momento de estabelecimento do *seeker* e o seu comportamento (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Este subsistema será desenvolvido na secção 6.2.2 - Parametrização da ameaça.

Subsistema do *seeker* do míssil ameaça – É através deste subsistema que se efetua a modelação do radar do míssil ameaça. Dentro dos parâmetros a serem modelados, estão o padrão de pesquisa do *seeker*, tipo de pesquisa em distância, tipo de pesquisa em azimute e a capacidade de discriminação de *chaff* (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Este subsistema será desenvolvido na secção 6.2.2 - Parametrização da ameaça.

Subsistema do comportamento do míssil - O modelo permite introduzir velocidades para o míssil ameaça entre os 0.8 e 3.0 *mach*. Conforme a velocidade introduzida o modelo gere a forma como o míssil se vai comportar. O modelo usa a navegação proporcional para se orientar em azimute, a sustentação em elevação durante o voo e a navegação por





ângulos constantes quando efetua o mergulho na fase terminal (Chapman & Benke, 2004). Este subsistema será desenvolvido na secção 6.2.2 - Parametrização da ameaça.

Depois de todos os dados serem introduzidos, o SADM calcula a probabilidade de sobrevivência ( $P_s$ ) de um navio face a uma ameaça ou um conjunto variado de ameaças. Como já foi referido, o SADM permite efetuar um conjunto de *runs*, denominado *batch run*, em que é possível variar o número, tipo e as características da ameaça entre cada *run*, verificando assim a vulnerabilidade de um determinado navio (Chapman & Benke, 2004). Através da análise dos resultados apresentados na figura 28, é possível confrontar a probabilidade de sobrevivência e o número de mísseis ameaça em direção ao navio - a ameaça é subsónica, e o navio representado possui um radar de pesquisa 2D, dois radares de tiro, sendo, genericamente, semelhante aos navios da classe “Vasco da Gama” e da classe “Bartolomeu Dias”.

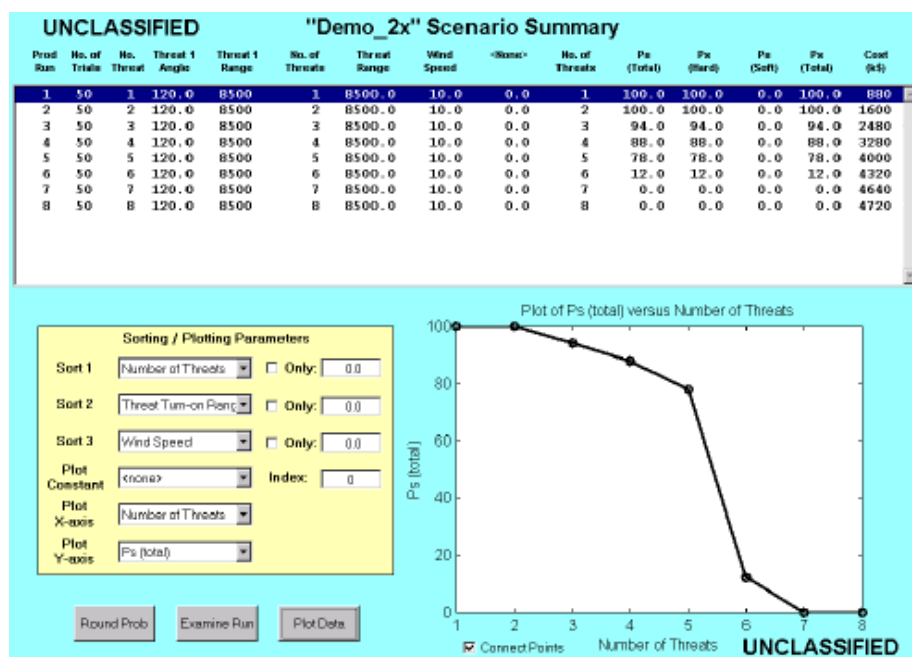


Figura 28 – Resultado de uma *Batch Run*.

Uma vez que o SADM permite alterar parâmetros introduzidos facilmente, podem ser criadas muitas *batch runs*, e o cálculo de  $P_s$  do navio pode ser verificado de acordo com as configurações pretendidas. O resultado é um sistema custo vs performance muito bom (Chapman & Benke, 2004). As figuras 29 e 30 são exemplos de produtos que se podem obter, através da modelação de várias configurações. O navio representado não



tem mísseis de defesa próxima em CIWS, apenas os mísseis de médio alcance. No cenário A o míssil é subsónico e no cenário B é supersónico (Chapman & Benke, 2004).

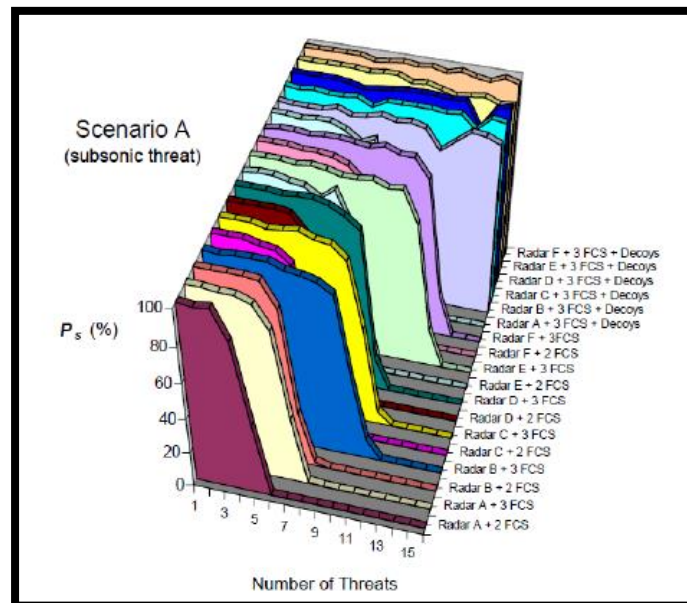


Figura 29 – Resultados obtidos no Cenário A (Chapman & Benke, 2004).

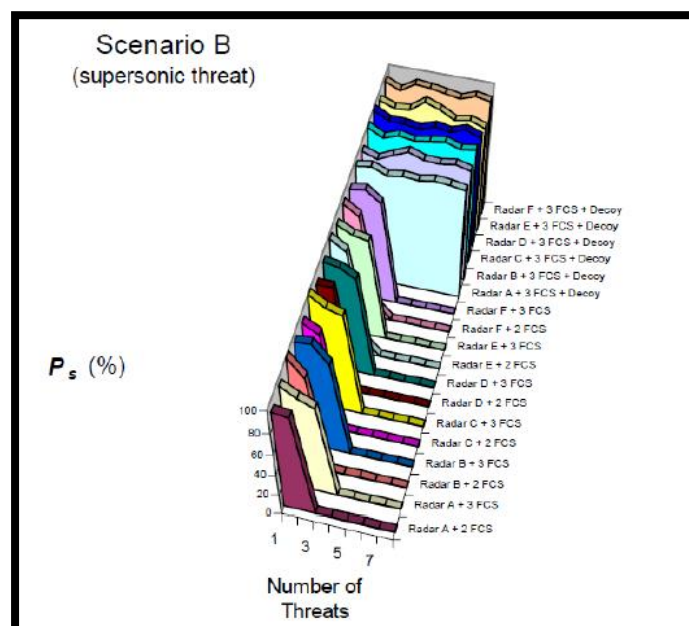


Figura 30 – Resultados obtidos no cenário B (Chapman & Benke, 2004).

A otimização da capacidade de defesa própria (aumentando assim a  $P_s$ ), consiste numa outra possível utilização do SADM. Este modelo permite a definição de políticas de defesa do navio, bem como o tipo de utilização das armas. Também é possível verificar a



*performance* de *hardkill* e *softkill*, tanto independentemente, como em conjunto, indicando qual a melhor forma de otimizar o emprego de cada um, e chegando mesmo a mencionar em que alturas deve ser usado um e/ou outro. Por fim, permite atribuir um custo a cada munição e verificar, no final, o custo de cada empenhamento de armas, possibilitando desta forma, a otimização de táticas para, simultaneamente, maximizar a  $P_s$  e minimizar a despesa (Chapman & Benke, 2004).

## 5. Parametrização

Neste capítulo descrever-se-á o processo de modelação dos engodos utilizados na MP, bem como dos lançadores SRBOC dos navios das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”. Devido à natureza classificada de algumas características operacionais das munições de *chaff*, parte da informação será disposta num apêndice classificado.

A modelação dos engodos e dos lançadores no SADM ocorre no subsistema <Ship>, separador <Chaff/IR>.

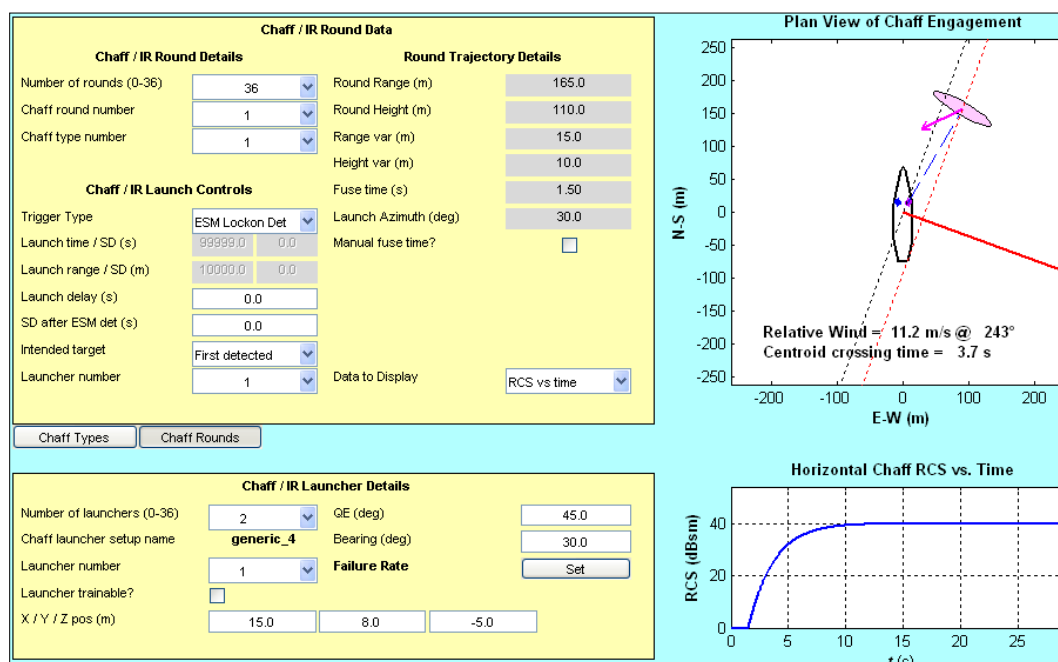


Figura 31 – Constituição do modelo dos engodos (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Podem existir até seis tipos de *chaff*/IR num único navio, e até 36 sequências de lançamento (distribuídos entre os seis tipos) de lançamento de *chaff*, por cada MCT. As rodadas podem ser distribuídas entre os vários lançadores, sendo este parâmetro especificado pelo utilizador (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Uma vez que existem dez modos de lançamento da munição *chaff* D, serão criados dez modelos diferentes, correspondentes às características de cada nuvem - altura e distância -, isto é serão criados 10 modelos de *chaff* D. Será, também, criado um modelo do *chaff* S,



e, à semelhança do *chaff* D serão criados 5 modelos de *flares* IR correspondentes às cinco submunicações.

Serão também modelados os lançadores SRBOC das fragatas das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”.

### 5.1 Quadro <Chaff/IR launcher details>

Este quadro permite a parametrização dos lançadores existentes a bordo do navio. São modelados, entre outros parâmetros, o número de lançadores existentes, a sua posição no navio, o ângulo de elevação do lançador (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

<b>Chaff/IR Launcher Details</b>		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>Number of launchers (0-36)</i>	Número de lançadores existentes
2.	<i>Chaff launcher setup name</i>	Nome do modelo
3.	<i>Launcher number</i>	Lançador número (para iniciar a parametrização desse lançador)
4.	<i>X/Y/Z pos (m)</i>	Posição dos lançadores ao longo de um eixo imaginário no centro do navio
5.	<i>QE (deg)</i>	Ângulo de elevação do lançador
6.	<i>Bearing (deg)</i>	Direção para onde aponta

Tabela 7 - Campos constituintes do quadro <Chaff/IR Launcher Details>, pertencente ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

Foram parametrizados dois modelos, correspondentes as fragatas das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”, com dois e quatro lançadores respetivamente.



## 5.2 Quadro <Chaff type data>

Através deste quadro são modelados os tipos de *chaff* existentes a bordo do navio em estudo, no que diz respeito à formação e à trajetória da nuvem, entre outros (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Dos parâmetros mais relevantes, é de destacar o calculador da trajetória, bem como o mecanismo de disparo do *chaff*. O tipo de calculador da trajetória do *chaff* - *chaff/IR traj calc type* – é responsável pelo lançamento de *chaff* e também pelo cálculo da posição da sua posição depois de lançado. A trajetória pode ser calculada de duas maneiras: através do parâmetro “*Range/Height*” – o utilizador define a distância e altura a que a nuvem deve ficar do navio, havendo variações nas MCT - ou através do parâmetro “*Fusing Time*” – o utilizador introduz uma tabela da altura e distância da nuvem de *chaff* ao navio, após o seu lançamento, e, em função da elevação do lançador, o SADM calcula automaticamente a posição da nuvem de *chaff* para qualquer momento (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). A opção mais fiável seria o “*Fusing Time*”, uma vez que existiria a simulação do disparo do *chaff* e da formação da nuvem ao longo do tempo. No entanto, não existem os dados suficientes para a criação da função necessária para a utilização deste parâmetro.

A cada modo da munição *chaff* D estão associados uma altura e uma distância a que a nuvem se formará. Assim, cada tipo de *chaff* D (ou seja, na linguagem que o SADM utiliza, cada *chaff type*) modelado – referente aos modos desta munição – terá características físicas diferentes. Já para a munição de *chaff* S, foi construído apenas um modelo, uma vez que esta munição, como descrito na secção 2.4.2 - Descrição física da munição MK 214 *Chaff* S – possui apenas um modo de operação.

Relativamente à modelação dos *flares* IR, a sua trajetória é calculada através da ferramenta “*IR fusing time*”, dando assim indicação ao programa que se trata de uma munição IR que está a ser modelada (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Por outro lado, para os *flares* IR, devido ao facto de cada munição possuir cinco submunhões, o modo de parametrização seria ligeiramente diferente. Ao passo que para as munhões de *chaff* D e S a modelação ocorre diretamente no programa, através do preenchimento dos campos necessários, a modelação dos *flares* IR deveria ocorrer através da construção de um ficheiro *.txt* (bloco de notas), contendo o número de submunhões, e o tempo de detonação



de cada uma delas, a distância e altura que atingem, e a sua posição a partir do navio ao longo do tempo (após a detonação). Posteriormente a extensão do ficheiro seria alterada, de forma a ser lido pelo programa (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010). No entanto, após a construção do referido ficheiro, este não era lido pelo programa, dando vários erros. A solução adotada foi a construção de cinco modelos de *flares* IR – correspondentes a cada uma das cinco munições – definindo o espaçamento entre salvas na sequência de lançamento, simulando assim uma só munição.

Devido à natureza classificada das características das munições *chaff* e *flares* IR, as tabelas de parametrização de cada um dos modelos encontram-se no apêndice C, da página C-11 à C-23.

<b>Chaff type data</b>		
Nº	Nome do campo	Descrição
1.	<i>Number of chaff types (0-6)</i>	Número de tipos de <i>chaff</i> existentes
2.	<i>Chaff/IR type number</i>	Tipo de <i>chaff</i> que se pretende modelar
3.	<i>Description</i>	Descrição textual do tipo de <i>chaff</i>
4.	<i>Chaff/IR type name</i>	Nome do tipo de <i>chaff</i>
<b>Chaff/IR Characteristics</b>		
5.	<i>Chaff/IR traj calc type</i>	Tipo de calculador da trajetória a utilizar
6.	<i>Chaff/IR intended use</i>	Confusão/Distração/Sedução
7.	<i>Round cost (k\$)</i>	Custo, em milhares de dólares
8.	<i>Chaff/IR munition length and width (m)</i>	Comprimento e largura da nuvem de <i>chaff</i>
9.	<i>Chaff control</i>	Este parâmetro indica se o disparo de <i>chaff</i> está <i>online</i> ou <i>offline</i> no sistema de combate
10.	<i>Salvo Spacing (s)</i>	Espaçamento entre salvas
<b>Chaff/IR Trajectory Details</b>		
11.	<i>Range (m)</i>	Distância da nuvem ao navio
12.	<i>Height (m)</i>	Altura da nuvem
13.	<i>Range/Height Var (m)</i>	Variação média da altura e distância
14.	<i>Fuse time (s)</i>	Tempo de detonação
15.	<i>Fall rate (m/s)</i>	Taxa de queda da nuvem
16.	<i>Dispersion (m/s)</i>	Dispersão da nuvem
<b>Chaff/IR RCS Properties</b>		
17.	<i>Blooming time (s)</i>	Tempo de expansão da nuvem
18.	<i>SD of RCS (dBsm)</i>	Desvio padrão do RCS da nuvem
19.	<i>Chaff Blooming Algorithm</i>	Algoritmo de expansão da nuvem em

		dBsm
20.	<i>Data to display</i>	Modo de visualização dos dados – RCS vs frequência, atenuação ou RCS vs tempo

Tabela 8 - Campos constituintes do quadro <Chaff type data>, pertencente ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

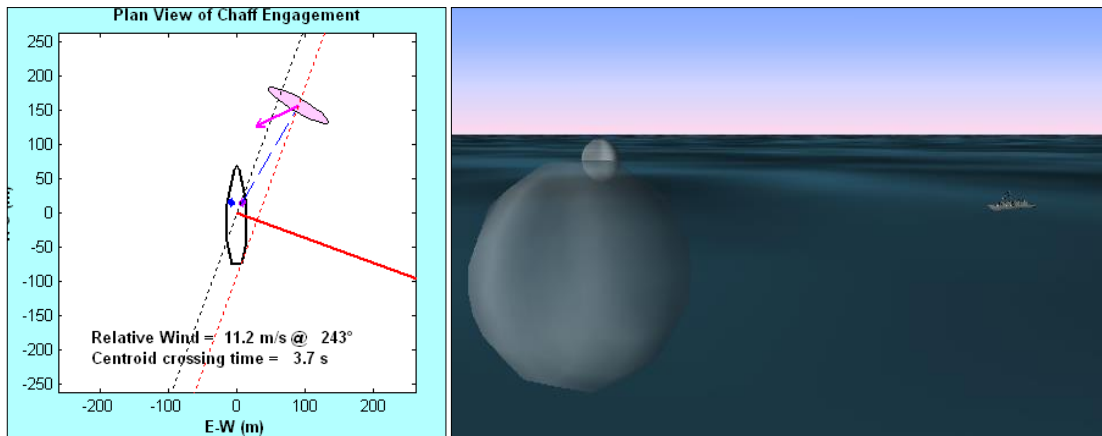


Figura 32 – Nuvem de *chaff* e navio recorrendo ao SADM (nuvem cor de rosa) e ao SIMDIS (esfera cinzenta) (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

### 5.3 Quadro <Chaff/IR round data>

Este quadro permite a parametrização de cada disparo de *chaff* efetuado, tendo em conta o seu tipo e o mecanismo ou evento responsável pelo lançamento do *chaff* (*trigger*) (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). O *trigger* escolhido para o lançamento do *chaff* D foi o “*first to occur*”, em que o *chaff* é lançado ao primeiro dos seguintes acontecimentos: o míssil atingiu uma certa distância até ao CPA, deteção do STO por parte do ESM ou deteção do *lock-on* por parte do ESM – o objetivo é a nuvem de *chaff* estar formada antes do STO para uma maior probabilidade de aquisição desta. Já para o *chaff* S o *trigger* escolhido foi o “*Range to go*”, isto é, à distância nos EWT é lançado o *chaff* S, independentemente de ter ocorrido ou não uma deteção ESM.





<b><i>Chaff/IR round data</i></b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>Number of rounds (0-36)</i>	Número de <i>rounds</i>
2.	<i>Chaff round number</i>	<i>Round</i> de <i>chaff</i> que se pretende modelar
3.	<i>Chaff type number</i>	Tipo de <i>chaff</i> que se pretende utilizar no <i>round</i>
<b><i>Chaff/IR Launch Controls</i></b>		
4.	<i>Trigger type</i>	Tipo de evento responsável pelo lançamento do <i>chaff</i>
5.	<i>Launch time/SD (s)</i>	Tempo de lançamento – disponível apenas se o <i>trigger</i> for “ <i>Time</i> ”/” <i>First to occur</i> ”
6.	<i>Launch range/SD (m)</i>	Distância de lançamento até ao CPA – disponível apenas se o <i>trigger</i> for “ <i>Range to go</i> ”/” <i>Fisrt to occur</i> ”
7.	<i>Launch Delay (s)</i>	Atraso de lançamento – caso o <i>trigger</i> seja uma deteção do ESM – referente ao intervalo em que o míssil é detetado e até ao <i>chaff</i> ser disparado
8.	<i>SD after ESM det (s)</i>	Desvio padrão do campo anterior
9.	<i>Intended target</i>	Especifica contra qual ameaça é disparado o <i>chaff</i>
10.	<i>Launcher number</i>	Número do lançador utilizado para o disparo
<b><i>Round Trajectory Details</i></b>		
11.	<i>Round Range (m)</i>	Campo não modificável igual ao homónimo do quadro < <i>Chaff type data</i> >
12.	<i>Round Height (m)</i>	Campo não modificável igual ao homónimo do quadro < <i>Chaff type data</i> >
13.	<i>Round Range/Height Var (m)</i>	Campo não modificável igual ao homónimo do quadro < <i>Chaff type data</i> >
14.	<i>Round Fuse time (s)</i>	Campo não modificável igual ao homónimo do quadro < <i>Chaff type data</i> >
15.	<i>Launch Azimuth (deg)</i>	Azimute de lançamento da carga

Tabela 9 - Campos constituintes do quadro <*Chaff/IR round data*>, pertencente ao subsistema <*Ship*>  
(Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).





## 6. Validação dos modelos

Apesar da validação recorrer a métodos estatísticos, nesta dissertação o processo de validação dos modelos parametrizados no SADM terá por base a comparação dos resultados obtidos através do programa, com os resultados descritos nos relatórios dos EWT. Importa, no entanto, referir que este método não é o mais indicado, uma vez que os parâmetros que o SADM utiliza para a criação de cenários são de número superior aos parâmetros disponibilizados nos relatórios.

Devido à natureza classificada dos dados constantes dos relatórios, alguma informação relativa a este capítulo consta nos Apêndices C e D.

Neste capítulo descrever-se-á a restante parametrização relativa ao navio, bem como o cenário contante dos relatórios e a ameaça existente.

### 6.1 Parametrização do navio

A configuração do navio contempla vários separadores e subseparadores, como se pode verificar pela análise da figura 33. No subsistema navio estão incluídos os seguintes separadores e subseparadores, respetivamente:

1. *Physical – Physical Details, Motion Data, RCS/EOIR e Trajectory;*
2. *C2 – General Info, Potential Threat, Confirmed Threat e Additional Data;*
3. *ESM – System Details;*
4. *EOIR – System Details;*
5. *Radar*
6. *Chaff/IR*
7. *Jammer – System Details e Receiver;*
8. *Decoy -. Decoy Types, Decoy Rounds, Decoy Launchers e Decoy Summary;*
9. *Waypoint Mgmt*

Os valores reais que serão usados refletem a constituição física do navio (em termos de comprimento, boca, entre outros). Apesar de o navio ter muito mais parâmetros para serem modelados, para o desenvolvimento desta dissertação serão utilizados valores defeito do SADM no que diz respeito ao tipo de equipamentos existente nos navios de

guerra, nomeadamente o equipamento de guerra eletrónica, equipamentos electro óticos e os sistemas de armas, já que não estão diretamente associados aos objetivos definidos. Já os movimentos do navio (a arfagem e o balanço) serão definidos como aleatórios, sendo que não há qualquer informação relativamente a estes, contida nos relatórios dos EWT. O processo de lançamento dos engodos é definido através do subsistema C2/WCS. Para os objetivos deste trabalho, é fundamental parametrizar os lançadores dos engodos, bem como as próprias munições e a RCS do navio em questão. Isto porque o conhecimento da RCS de um navio é crítico para o sucesso das medidas *softkill*.

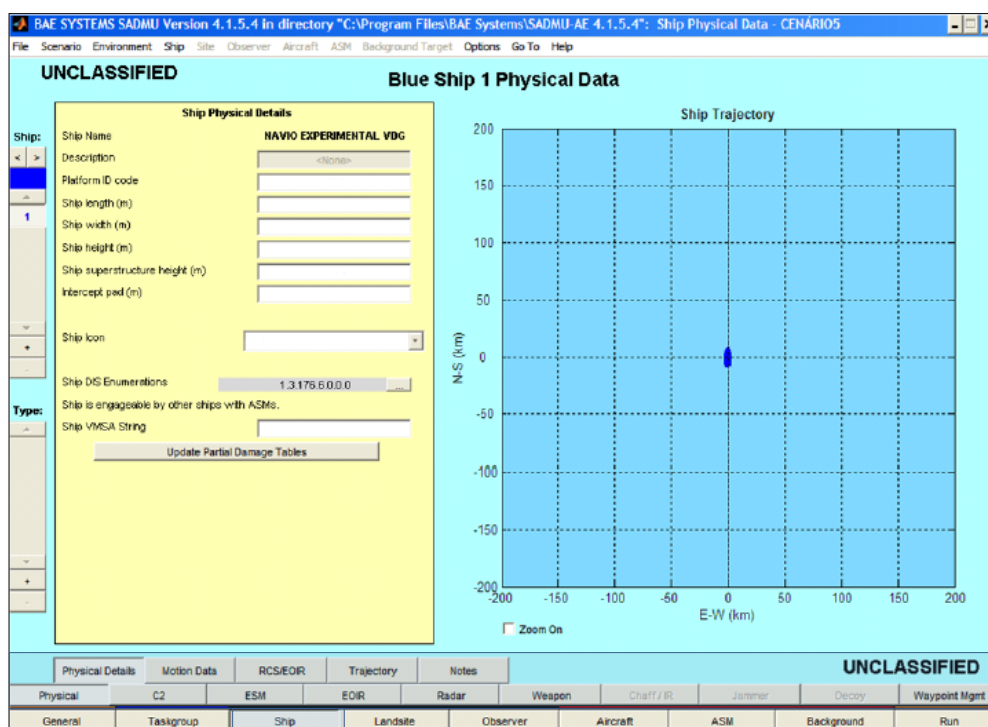


Figura 33 – Configuração do subsistema do navio.

#### a) Separador <Physical>

O separador *Physical* (físico) permite a parametrização de todo o tipo de características físicas do navio em questão (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).



i. Quadro <Ship Physical Details>

<b>Ship Physical Details</b>		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>Ship Name</i>	Nome do navio
2.	<i>Description</i>	Texto arbitrário utilizado para identificar o navio
3.	<i>Platform ID Code</i>	-
4.	<i>Ship length</i>	Comprimento do navio
5.	<i>Ship width</i>	Boca do navio
6.	<i>Ship height</i>	Altura do navio a partir da superfície da água
7.	<i>Ship Superstructure height</i>	Altura das superestruturas do navio
8.	<i>Intercept pad</i>	Consiste num aumento do elipsoide criado com as dimensões do navio para mísseis mais letais
9.	<i>Ship Icon</i>	-
10.	<i>Ship DIS Enumerations</i>	Enumerações DIS do navio
11.	<i>Ship is engageable by other ships with ASMs</i>	-
12.	<i>Ship VMSA String</i>	-

Tabela 10 – Campos constituintes do quadro <Ship Physical Details>, pertencente ao separador <Physical> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No Apêndice C, consta a tabela 10 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.

ii. Quadro <Ship Motion Description Data>~

No quadro <Ship Motion Description Data> definem-se os movimentos do navio em termos de *pitch*, *roll* e *yaw* (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010). No entanto, e como já foi referido anteriormente, não existe informação relativamente a isto nos relatórios dos EWT, pelo que para este trabalho, foi adotada a utilização de valores aleatórios gerados pelo programa.



Ship Motion Description Data	
Random Values?	<input checked="" type="radio"/> T <input type="radio"/> F
Heave Amp (m)	<input type="text" value="0.37"/>
Heave Period (s)	<input type="text" value="6.00"/>
Pitch Amp (deg)	<input type="text" value="0.88"/>
Pitch Period (s)	<input type="text" value="6.00"/>
Roll Amp (deg)	<input type="text" value="2.13"/>
Roll Period (s)	<input type="text" value="9.00"/>

Figura 34 - Quadro <Ship Motion Description Data>, pertencente ao subsistema <Ship>.

Ship Motion Data		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	Random Values?	Sim
2.	Heave Amp (m)	Aleatório
3.	Heave Period (s)	Aleatório
4.	Pitch Amp (deg)	Aleatório
5.	Roll Period (s)	Aleatório

Tabela 11 – Campos constituintes do quadro <Ship Motion Data>, pertencente ao separador <Physical> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No Apêndice C, consta a tabela 11 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.

### iii. Quadro <RCS/EOIR>

Neste quadro é definido o perfil RCS do navio. Caso seja conhecido o perfil RCS do navio a parametrizar, é possível introduzir um ficheiro que, lido pelo programa, constrói um diagrama de RCS relativo ao dito ficheiro. Caso contrário, o utilizador terá de introduzir manualmente fatores como o valor médio de RCS. No caso específico desta dissertação, foi introduzido um ficheiro em formato *.txt* (bloco de notas), contendo a



informação referente à RCS dos navios da classe “Vasco da Gama”, produzido anteriormente pela Direção de Navios (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

Figura 35 – Quadro <RCS/EOIR>, pertencente ao subsistema <Ship>.

RCS/EOIR		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
<b>RCS Signature Data</b>		
1.	<i>RCS Pattern Name</i>	rcs_VGAMA
2.	<i>Varies with freq/aspect?</i>	Sim
3.	<i>Median RCS Value (dBsm)</i>	Valor médio de RCS
4.	<i>SD of RCS Value (dBsm)</i>	Desvio padrão do valor de RCS
5.	<i>Max. Dev. (dBsm)</i>	Desvio máximo do valor de RCS
6.	<i>Illum. RCS (dBsm)</i>	-
7.	<i>Simulate ship length?</i>	-
<b>RCS Vertical Distribution</b>		
8.	<i>RCS Height/Fraction 1</i>	Distribuição vertical de RCS
9.	<i>RCS Height/Fraction 2</i>	
10.	<i>RCS Height/Fraction 3</i>	



11.	<i>RCS Height/Fraction 4</i>	
<i>Illuminator timing (wrt Decoy Firing)</i>		
12.	<i>Threat number</i>	1
13.	<i>Start Time</i>	-
14.	<i>End Time</i>	-
<i>IR Signature Data</i>		
16.	<i>IR signature name</i>	Default_irsg

Tabela 12 – Campos constituintes do quadro <RCS/EOIR> pertencente ao separador <Physical> e ao subsistema <ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No Apêndice C, consta a tabela 12 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.

#### b) Separador <C2>

O modelo de C2/WCS do SADM pretende simular a operação do Sistema de Comando e Contro ou do WCS relativamente a operações de defesa de área ou defesa própria. Este modelo interage direta ou indiretamente com todos os sensores e sistemas de armas existentes no navio. Para isto, é implementado o processo TEWA (*Threat Evaluation and Weapons Assignment*) para armas *softkill* e *hardkill*. Apesar da lógica do Sistema de Comando e Controlo ser genérica, o utilizador pode controlar vários parâmetros, permitindo deste modo imitar o comportamento de vários sistemas de C2 existentes (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).



i. Quadro <General Info>

<b>General Info</b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>C2 System Type</i>	<i>Generic SADM</i>
2.	<i>Sub/super keepout rng (m)</i>	Distâncias a que ameaças subsônicas/supersônicas devem ser destruídas
3.	<i>Minimum Pk Desired (0-1)</i>	Mínima probabilidade de destruição desejada
4.	<i>Knows threat characteristics?</i>	As características da ameaça são conhecidas?
5.	<i>Launch before acquisition?</i>	Lançamento antes da aquisição?
6.	<i>LBA Pad (s)</i>	-
7.	<i>Earliest Launch Range (m)</i>	Mais longa distância a que um míssil HK pode ser lançado
8.	<i>Min. Ship Salvo interval (s)</i>	Mínimo intervalo entre salvas
9.	<i>Desired Salvo Spacing (s)</i>	Espaçamento entre salvas desejado
10.	<i>Use Link Tracks in C2</i>	-
<b>Radiation</b>		
12.	<i>Use radiation inhibit sector?</i>	Utilização de setores de inibição da transmissão
13.	<i>Rad Inhibit Start (deg)</i>	-
14.	<i>Rad Inhibit End (deg)</i>	-

Tabela 13 – Campos constituintes do quadro <General Information> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No Apêndice C, consta a tabela 13 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.



## ii. Quadro <Potential Threat>

Neste quadro são parametrizados os requisitos para a classificação de contactos como potencial ameaça (*potential threat*), onde é possível estabelecer áreas de defesa aérea ou áreas de defesa própria.

<b>Potential Threat</b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>Use air area defence?</i>	Utilizar uma área de defesa aérea no de o sistema TEWA seja aplicado
2.	<i>Use air self defence?</i>	Este campo especifica a utilização de medidas TEWA para a defesa própria.
	<i>Air self defence CPA (m)</i>	Máximo CPA desde a HVU para um contacto considerado <i>potential threat</i>
	<i>Air self defence time (s)</i>	Tempo máximo para uma <i>potential threat</i> atingir o CPA
3.	<i>Keep out range (m)</i>	Máxima distância desde o próprio navio a que um contacto aéreo pode estar.
6.	<i>Engage ships with ASMs?</i>	-
7.	<i>Engage small boats?</i>	-
8.	<i>Participate in joint Fire support?</i>	-
9.	<i>Visual ID range for ships (m)</i>	-
10.	<i>Visual ID range for ac (m)</i>	Alcance visual da aeronave
11.	<i>Visual ID range for boats(m)</i>	-
12.	<i>Visual ID time (s)</i>	Tempo necessário para um observador fazer a classificação de um contacto

Tabela 14 – Campos constituintes do quadro <Potential Threat> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No Apêndice C, consta a tabela 14 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.





### iii. Quadro <Confirmed Threat>

Depois de um contacto ter sido classificado como potencial ameaça (*potential threat*), é avaliado se corresponde a determinados critérios de modo a ser classificado como ameaça confirmada (*confirmed threat*). Esta avaliação é realizada através de três métodos, que podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto (*Chapman S. , Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010):

- Confirmação Manual – este tipo de confirmação simula o modo de ação do pessoal no centro de operações (CO). Assim o contacto passa a ameaça confirmada passado um determinado tempo (especificado pelo utilizador) de se ter obtido um resultado IFF negativo. Este foi o modo utilizado para a parametrização.
- Confirmação automática especial – todos os contactos com uma determinada distância e tempo ao CPA definido pelo utilizador são automaticamente classificados como ameaça confirmada.
- Confirmação automática supersónica – todos os contactos supersónicos com uma determinada distância e tempo ao CPA definido pelo utilizador são automaticamente classificados como ameaça confirmada.

<b>Confirmed Threat</b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>Manual Conf. Delay (s)</i>	Média temporal de uma classificação, após uma resposta de IFF negativa
2.	<i>Manual Conf. Std Dev (s)</i>	Desvio padrão do campo anterior
3.	<i>Special auto range (m)</i>	Alcance máximo para a confirmação automática especial
4.	<i>Special auto time to CPA (s)</i>	Tempo máximo até ao CPA para confirmação automática especial
5.	<i>Supersonic auto range (m)</i>	Máxima distância para a confirmação automática supersónica
6.	<i>Supersonic auto time to CPA</i>	Tempo máximo até ao CPA para confirmação automática supersónica
7.	<i>Supersonic Threshold (m/s)</i>	Velocidade mínima para uma ameaça ser considerada para o teste



		de confirmação automática supersónica
8.	<i>Supersonic ang thresh (deg)</i>	Ângulo de elevação máximo para uma ameaça ser considerada para o teste de confirmação automática supersónica

Tabela 15 - Campos constituintes do quadro <Confirmed Threat> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No Apêndice C, consta a tabela 15 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.

iv. Quadro <Additional data>

Neste quadro é possível especificar seis tipos de dados, sendo os mais relevantes para esta dissertação os dados *coordination* e *softkill*, que serão descritos seguidamente.

<b><i>Additional Data – Hardkill/Softkill Coordination</i></b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>Strategy</i>	Especifica se os sistemas de <i>softkill</i> estão associados ao sistema de C2

Tabela 16 - Campos constituintes do quadro <Additional data – Hardkill/Softkill Coordination> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.



### ***Additional Data – Softkill***

Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>Use softkill lookup table?</i>	Utilização de uma tabela de dados referentes ao eixo da ameaça e o momento de interceção
2.	<i>Use decoys?</i>	Utilização de engodos
3.	<i>Use chaff?</i>	Utilização de <i>chaff</i> (através do sistema de C2)

Tabela 17 - Campos constituintes do quadro <Additional data – Softkill> pertencente ao separador <C2> e ao subsistema <Ship>.

#### **c) Separador <ESM>**

O SADM permite a parametrização de até quatro sistemas de ESM existentes num navio através do modelo ESM. Este modelo é capaz de detetar emissões de ASM, aviões, radares de busca e radares iluminadores (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). O modelo utilizado para esta dissertação será o modelo defeito do SADM, uma vez que ainda não se encontram modelados os sistemas ESM das fragatas das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”.

### ***ESM Receiver Details***

Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>No. Os Rcvrs/Current Rcvr</i>	Número de recetores ESM
2.	<i>ESM System Name</i>	Default_ESM
3.	<i>ESM System turned on?</i>	Sim
4.	<i>ESM Receiver turned on?</i>	Sim
5.	<i>ESM Receiver Type</i>	Tipo de recetor ESM
6.	<i>Low/high Frequency (GHz)</i>	Limites das frequências (alta e baixa)
7.	<i>RF/Video Bandwidth (GHz)</i>	Largura de banda utilizada
8.	<i>Elev measurements</i>	Medidas de elevação
9.	<i>Ant. X/Y pos on ship (m)</i>	Posição da antena no navio
10.	<i>Ant. Height (m)/Gain (dB)</i>	Altura e ganho da Antena
11.	<i>Az/El Beamwidths (deg)</i>	Defeito
12.	<i>Az/El Meas. Std. Dev. (deg)</i>	Defeito
13.	<i>Azimuth Beam Pattern</i>	Omnidirectional



14.	<i>Elevation Beam Pattern</i>	Padrão de elevação
15.	<i>Prob. False Alarm</i>	Probabilidade de ser falso alarme
16.	<i>ESM Delay (s)/std dev (s)</i>	Atraso do sistema/desvio padrão

Tabela 18 – Campos constituintes do quadro <ESM Receiver Details> pertencente ao separador <ESM> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

Os dados utilizados na parametrização do sistema ESM para esta dissertação, são o modelo genérico do SADM. No Apêndice C, consta a tabela18 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.

#### d) Separador <EO/IR>

Neste separador é possível parametrizar sensores eletro-óticos ou IR existentes no navio. Nesta dissertação será utilizado um sensor por defeito, uma vez que não existem a bordo das fragatas das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias”.

<b>EO/IR Details</b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>No. Of Sensors/Current Sensor</i>	1/1
2.	<i>Sensor Type</i>	Tipo de sensor
3.	<i>IRST Name</i>	Nome do sensor
4.	<i>Elevation offset wrt horizon (deg)</i>	Elevação do sensor
5.	<i>Min/Max wavelength (um)</i>	Comprimento de onda mínimo e máximo
6.	<i>Number of Horiz/vertical Pixels</i>	Número de pixéis verticais e horizontais
8.	<i>Focal length/F number</i>	-
9.	<i>Detector periodicity/Detectivity</i>	-
10.	<i>Proc delay (s)</i>	Atraso
11.	<i>Use multiple colour bands?</i>	Utilizar múltiplas bandas?
12.	<i>X/Y/Height position on Ship (m)</i>	Posição no navio
13.	<i>Prob. of false alarm</i>	Probabilidade de falso alarme
14.	<i>RMS Az/EI stab. Error (deg)</i>	-
15.	<i>Rotation Time (s)</i>	Tempo de rotação

Tabela 19 – Campos constituintes do quadro <EO/IR Details> pertencente ao separador <EO/IR> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).



### e) Separador <Radar>

No separador <Radar> o utilizador faz a parametrização dos radares existentes a bordo do navio, introduzindo valores como a potência transmitida, a altura da antena, o ganho da antena, o padrão de transmissão da antena, entre outros (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Para esta dissertação serão utilizados os modelos previamente construídos na dissertação de mestrado do Segundo-Tenente Buinho Menúrias, encontrando-se no apêndice C as tabelas com os dados referentes a esses modelos.

<i>Search Radar Details</i>		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>Radar Name</i>	Nome do radar
2.	<i>Radar count</i>	Radar a parametrizar
3.	<i>Radar turned on</i>	Radar ligado ou desligado.
4.	3D Radar	O radar que está a ser configurado é de 3 dimensões - caso se trate de um radar de 2 dimensões não se assinala.
5.	<i>Phased Array Radar</i>	-
6.	<i>Stab. Antenna</i>	A antena radar está assente numa plataforma estabilizada.
7.	<i>Vector Proc mode</i>	Ao seleccionar este campo no final da <i>run</i> , o PPI do radar poderá ser visualizado tal como seria na realidade.
8.	<i>Suppress land obs</i>	Verificar o efeito causado por massas de terra.
9.	<i>Special alert mode</i>	Permite detetar e classificar automaticamente como ameaça contactos em aproximação.
10.	<i>Spec alert min SNR/ min rdot</i>	Parâmetros para um contacto ser considerado ameaça - min SNR ( <i>Signal-to-noise ratio</i> ) e min rdot ( <i>radial velocity</i> ).
11.	<i>Antenna (x,y) position</i>	Posição da antena radar em relação ao navio.
12.	<i>Edit Radar Mode List</i>	Informação relativa aos modos de trabalho do radar.
13.	<i>Update radar tracker data</i>	Parâmetros para o seguimento de contactos.
14.	<i>Update calculation</i>	Este botão permite recalcular os dados quando se muda de radar ou se alteram alguns parâmetros.

Tabela 20 - Campos constituintes do quadro <Radar> pertencente ao separador <EO/IR> e ao subsistema <Ship> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).



**f) Separador <jammer>**

O modelo <jammer> constante do SADM contém dois subcomponentes sendo relevante para este trabalho o componente referente ao *jamming* a ASMs. O *jammer* pode funcionar independentemente ou sob controlo (*online*) do sistema de C2. O *jammer* pode ter até seis canais separados, sendo que cada canal pode ser configurado para utilizar um evento gatilho diferente, se desejado (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Cada canal pode ser iniciado por um de seis eventos especificados – cinco desses eventos são gatilhos autónomos, e o sexto é para a operação integrada no sistema de C2. Para este trabalho o *jammer* será por defeito o constante do SADM, apesar da sua relevância na defesa antimíssil, dado que, tal como o sistema de ESM, este sistema ainda não se encontra modelado para as fragatas da MP (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

**g) Separador <Decoy>**

O modelo do SADM referente aos engodos (modelo <Decoy>) tem como objetivo a parametrização de engodos diferentes do *chaff*. Estes engodos podem ser boias flutuantes, possuindo uma RCS maior do que um navio ou até *rockets* desenhados para atraírem o míssil atuando como um chamariz (sistemas *Nulka*), entre outros (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010). Para este trabalho não serão utilizados engodos deste tipo.

## **6.2 Construção dos cenários**

Neste subcapítulo descrever-se-á a construção dos dois cenários utilizados para esta dissertação (um correspondente aos NATO EWT 1999 e outro correspondente aos NATO EWT 2001), bem como o processo de modelação dos engodos utilizados em cada cenário. Estes relatórios foram elaborados por equipas de análise (com elementos pertencentes à Direção de Navios e ao CITAN) que estiveram presentes durante os exercícios e, com base nos resultados tiraram conclusões sobre os mesmos. No entanto, é importante referir que apesar do curso de ação para cada série estar completamente descrito no relatório dos EWT 2001, dado ao cancelamento das séries onde o navio português participava, não existem



dados sobre o modo como decorreu cada série, para a fragata “Corte-Real” da classe “Vasco da Gama”.

Apesar desta dissertação se basear em relatórios de exercícios que já decorreram há mais de dez anos, estes documentos estão explícitos e bem organizados. Por outro lado, o difícil acesso a relatórios de EWT de anos mais recentes levou também à utilização dos relatórios previamente referidos.

Devido à natureza classificada dos relatórios, alguma informação será disposta num apêndice classificado, adequadamente assinalado ao longo dos subcapítulos e secções pertencentes a este capítulo.

### 6.2.1 Parametrização do cenário

A parametrização do cenário ocorre no separador <General>, sendo o primeiro subsistema que o SADM apresenta. A Figura 36 mostra os campos que podem ser parametrizados neste subsistema. Neste separador introduzem-se os dados referentes às condições atmosféricas, bem como as propriedades da série que vai ser efetuada (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

**Scenario Summary**

**Scenario Description Summary**

Scenario name: standard

Number of Runs: 1

No. of Monte Carlo Trials: 1

Scenario Date (yyyy/mm/dd): 2008/06/01

Start Time (hh:mm): 11:00

Local Time Zone: GMT+10 (K)

Daylight Savings Time? ☐

Max Sim. Time (s): 300.00

Ship Kill Type: Legacy

Model update rate: 50 Hz

Print Engagement File? ☐

Update Scenario Notes

No. of Ships: 1 (Blue), 0 (Red), 0 (White)

No. of Aircraft: 0 (Blue), 0 (Red), 0 (White)

No. of ASMs: 0 (Blue), 1 (Red), 0 (White)

No. of BG tgts: 0 (Blue), 0 (Red), 0 (White)

Use External Interface? ☐

Use DCS Interface? ☐

Use Hard kill? ☒

Use Soft kill? ☐

Run in real time? ☐

Display reactivity profiles on map? ☐

**Environment Description**

**Environment Summary**

Sea State: 2

Abs humidity (g/m3): 7.5

Air / Surface Temp (°C): 18.0 / 18.0

Rainfall Rate (mm/hr): 0.0

Refractivity Profile: standard

Centre map on profile ☐

Sea Surface Refractivity (M-units): 339.0

Evaporation Duct Height (m): 0.0

Surface-based duct ht (m): 0.0

Land Clutter Coefficient (dBsm/m2): -10.0

Solar Az / El Position: 14.89° / 31.38°

Visibility (km): 20.00

Atmospheric Model: Midlatitude Summer

Sky Temp (K) / Emissivity: 298.0 / 1.000

Latitude: 35° 8' 0" S

Longitude: 150° 45' 0" E

Ground type: Medium dry ground

Terrain type: Soil and Rock

Map: None

Use map data? ☐

Edit Map Data

**Wind Data**

Random Values? ☐ T ☐ F

Wind value type: True Wind

Wind Speed (m/s): 10.00

Wind Direction (deg): -90.0

Ang Offset wrt ASM: 0.0

Speed SD (m/s): 0.0

Angle SD (deg): 0.0

Edit Wind Profile

Figura 36 - Configuração do subsistema *Environment*.

No caso específico desta dissertação, a parametrização do cenário far-se-á com recurso aos dados dos EWT, sendo que os parâmetros sobre os quais não conste nenhuma informação serão os dados iniciais constantes do programa (isto é os assumidos por defeito no início). É também neste separador que se indica ao programa o tipo de missão (*hardkill*, *softkill* ou ambos) que se pretende simular. Nas secções seguintes abordar-se-á a



introdução dos parâmetros a modelar nos respetivos subsistemas, materializada por tabelas descritivas dos dados de preenchimento. De referir, relativamente a estas tabelas, que os valores que já constam da mesma são iguais para todos os cenários; os campos preenchidos por defeito utilizam valores genéricos do SADM devido à falta de informação existente (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

**a) Quadro <Scenario Summary>**

Nas tabelas 21 e 22 encontram-se descritos os diversos campos constituintes do subsistema *environment*. Os parâmetros que se encontram preenchidos serão iguais para todos os cenários. No Apêndice D, consta a tabela 21 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.





<i>Scenario Summary</i>		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>Scenario Name</i>	Ex: 1cenarioEWT99
2.	<i>Number of runs</i>	Número de runs
3.	<i>No. of Monte Carlo Trials</i>	Número de MCT
4.	<i>Scenario Date</i>	Data do cenário
5.	<i>Start Time</i>	Hora de início da série
6.	<i>Local Time Zone</i>	Fuso horário da posição do exercício
7.	<i>Daylight Savings Time?</i>	Horário de Verão – sim ou não
8.	<i>Max Sim. Time (s)</i>	Tempo máximo para a execução da simulação
9.	<i>Ship Kill Type</i>	<i>Mission kill</i> – o navio pára de combater assim que é atingido
10.	<i>Model Update Rate</i>	Taxa de atualização do modelo
11.	<i>Print Engagement File?</i>	-
12.	<i>No. Of Ships</i>	Nº de navios
13.	<i>No. Of Aircraft</i>	Nº de aeronaves
14.	<i>No. Of ASMs</i>	Nº de mísseis ameaça
15.	<i>No. Of Background Targets</i>	-
16.	<i>Use external interface?</i>	Não
17.	<i>Use DCS interface?</i>	-
18.	<i>Use hardkill?</i>	Utilizar HK?
19.	<i>Use softkill?</i>	Utilizar SK?

Tabela 21 – Campos constituintes do quadro <Scenario Summary>, pertencente ao subsistema <Environment> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

#### b) Quadro <Environment Description>

O resumo do quadro <Environment Description> pertencente ao subsistema <Environment>, é mostrado na figura 36. Os campos deste quadro são descritos abaixo, na Tabela 22. Os parâmetros neste campo são utilizados no cálculo do sinal de propagação RF, transmitância<sup>24</sup> de radiação IR, os efeitos do vento, entre outros. Note-se que a direção do vento neste quadro é especificada como sendo um vetor. Por outras palavras, a direção do vento no modelo é a direção para onde o vento está a soprar, e não a direção de onde o

<sup>24</sup> Transmitância é a quantidade de energia, nomeadamente de luz, que atravessa um corpo sem sofrer absorção ou reflexão (Priberam Informática, 2012).



vento vem. No Apêndice D, consta a Tabela 22 preenchida com os dados referentes aos EW *Trials* utilizados para parametrizar as séries.

<i>Environment Description</i>		
Nº	Nome do campo	Preenchimento
1.	<i>Sea State</i>	Estado do mar de 0 a 6
2.	<i>Abs humidity</i>	Humidade absoluta
3.	<i>Air/Surface Temp</i>	Temperatura
4.	<i>Rainfall Rate</i>	Taxa de chuva
5.	<i>Refractivity profile</i>	Perfil de refratividade
6.	<i>Solar AZ/EI Position</i>	Azimute ao sol (calculado automaticamente)
7.	<i>Visibility</i>	Visibilidade
8.	<i>Atmospheric Model</i>	Modelo atmosférico
9.	<i>Latitude</i>	Latitude
10.	<i>Longitude</i>	Longitude
11.	<i>Ground type</i>	Terreno
12.	<i>Map</i>	Mapa DTED da localização
<i>Wind Data</i>		
13.	<i>Random Values?</i>	Valores aleatórios?
14.	<i>Wind value type</i>	Tipo de valor de vento (verdadeiro ou relativo)
15.	<i>Wind speed</i>	Velocidade do vento
16.	<i>Wind direction</i>	Direção do vento
17.	<i>Angle offset wrt ASM</i>	Eixo de onde provém a ameaça
18.	<i>Speed SD</i>	Desvio padrão da velocidade do vento
19.	<i>Angle SD</i>	Desvio padrão da direção do vento

Tabela 22 – Campos constituintes do quadro <Environment Description>, pertencente ao subsistema <Environment> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

### 6.2.2 Parametrização da ameaça

A ameaça que pode ser configurada no SADM pode ser proveniente de aeronaves ou mísseis. Para a realização deste estudo foram utilizados dois tipos de mísseis. As figuras seguintes mostram como se pode configurar a ameaça, sendo fundamental inserir a distância ao navio a que ocorre o STO, o eixo da ameaça, bem como as características do *seeker*.

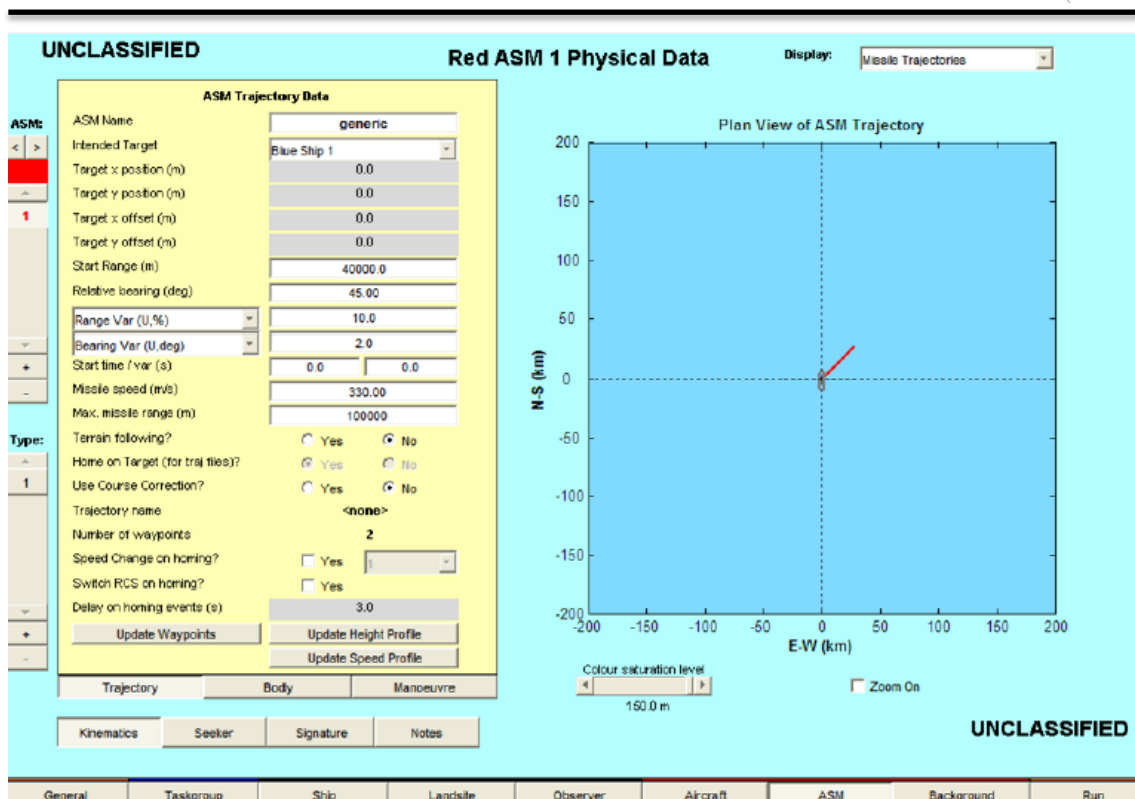


Figura 37 – Configuração do subsistema ASM (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

A ameaça que irá ser utilizada para este trabalho será um míssil com sistema de guiamento *homing* ativo de características genéricas, que, dado a sua natureza classificada, estarão descritas no apêndice D.

#### a) Separador <Kinematics>

Neste separador é possível classificar o míssil quanto à sua trajetória, velocidade, corpo do míssil e manobras que pode fazer (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010). Para isso são utilizados três quadros distintos: *trajectory*, *body* e *manoeuvre*. As tabelas seguintes descreverão o quadro <trajectory> e o <manoeuvre> uma vez que são os mais relevantes para este trabalho.



<b>ASM Trajectory Data</b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>ASM Name</i>	Nome
2.	<i>Intended Target</i>	Alvo do míssil
3.	<i>Target Position</i>	Posição do alvo tendo em conta um eixo cartesiano
4.	<i>Start Range</i>	Distância do navio a que o míssil começa o seu voo
5.	<i>Relative Bearing</i>	Azimute relativo
6.	<i>Missile speed</i>	Velocidade do míssil
7.	<i>Max. missile range</i>	Defeito

Tabela 23 - Campos constituintes do quadro <ASM Trajectory Data >, pertencente ao subsistema <ASM> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

Por ser um míssil com características genéricas, o míssil ameaça parametrizado não utilizará nenhuma manobra de diversão nem nenhuma manobra terminal. Para tal, é necessário parametrizar essas definições no quadro representado abaixo.

<b>ASM Manoeuvre Characteristics</b>		
<b>Nº</b>	<b>Nome do campo</b>	<b>Preenchimento</b>
1.	<i>Perform waeve?</i>	Especifica se o míssil utiliza o bordear
2.	<i>Terminal Dive?</i>	Especifica se o míssil faz um mergulho terminal
3.	<i>Terminal pop-up?</i>	Especifica se o míssil a manobra <i>pop-up</i> no final da trajetória

Tabela 24 - Campos constituintes do quadro <ASM Manoeuvre Characteristics >, pertencente ao subsistema <ASM> (Chapman S. , *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*, 2010).

No apêndice D encontram-se as tabelas preenchidas de acordo com os dados constantes dos EWT.



b) Separador <Seeker>

Através deste separador é possível parametrizar o *seeker* do míssil em relação a dados como a distância a que ocorre o STO e o tipo de busca que este realiza (Chapman S., *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory.*, 2010).

No apêndice D encontram-se todas as tabelas relativas à parametrização do míssil com os dados constantes dos EWT.

### 6.3 Discussão dos resultados

Neste capítulo serão comparados os resultados das séries parametrizadas e simuladas em SADM, com o resultado das séries dos EWT. Devido à natureza classificada destes dados, será apresentada uma tabela exprimindo a coerência da comparação. Isto é, a classificação da comparação dos resultados será feita através da sua coerência – por exemplo, se numa determinada série os resultados forem iguais, então a comparação será *coerente*; se por outro lado, os resultados forem diferentes, o resultado da comparação será *incoerente*.

Os dados relativos a cada série encontram-se no Apêndice D, bem como os resultados individuais de cada série.

Série	Resultado	Página do Anexo
1-1	Coerente	D-7
1-2	Incoerente	D-8
1-3	Coerente <sup>25</sup>	D-10
1-4	Incoerente	D-11
1-5	Coerente	D-12
1-6	Incoerente	D-14

Tabela 25 – Tabela comparativa dos resultados obtidos.

<sup>25</sup> Tal como descrito no Apêndice B, nesta série, o resultado foi coerente com apenas um dos simuladores.



Como se pôde constatar na secção 1.3 (Comparação dos resultados – mísseis *homing* ativo) do Apêndice D, os resultados obtidos através do SADM não coincidem totalmente com os resultados constantes dos relatórios. Foram replicadas (isto é, simuladas no SADM as condições das séries efetuadas nos EWT) seis séries dos EWT de 1999, correspondentes à utilização de *chaff* D e S em mísseis com *homing* ativo.

Destas seis séries três foram coerentes com os resultados reais e três não o foram. Este facto pode dever-se a duas situações: modelação deficiente dos sistemas e à falta de dados dos EWT. A utilização de modelos genéricos para a ameaça e para alguns modelos constituintes do subsistema navio, lesa a fidedignidade dos modelos simulados, isto é, existe um afastamento da realidade, o que não é aconselhável. A falta de dados dos EWT deve-se fundamentalmente ao facto de o exercício não ter sido planeado tendo em conta os parâmetros do SADM, causando assim uma ausência de dados fundamentais à constituição, tanto dos modelos, como do cenário em si.

Apesar do universo não ter significado estatístico, considera-se que existe capacidade no SADM para replicar exercícios já realizados

Uma das soluções para esta questão é o constante investimento na expansão e aprofundamento do conhecimento sobre o SADM, bem como uma investigação aprofundada nos próximos EWT, visando a recolha de dados específicos necessários para o SADM.



## 7. Conclusões e recomendações

### 7.1 Conclusões

Em virtude de tudo o que foi observado e concluindo esta dissertação, podem ser constatados os seguintes factos:

- 1) A premência da ameaça míssil antinavio - Como referido no capítulo 2, este tipo de ameaça não deve ser ignorada, dado o seu elevado poder destrutivo. A guerra das Falklands, ocorrida há relativamente pouco tempo, é um exemplo do perigo que este tipo de ameaça representa para os navios. Consequentemente, é necessário continuar a investir no desenvolvimento de técnicas e táticas de defesa antimíssil, bem como no treino das reações pré-planeadas face a este tipo de ameaça.
- 2) A Utilização da M&S como ferramenta de desenvolvimento - Relativamente ao uso da M&S na MP, nomeadamente a utilização do SADM, pode constatar-se que, efetivamente, têm uma relação de custo-eficácia positiva, apesar de pouco exploradas. Na conjuntura económica atual, torna-se necessário aproveitar e utilizar todos os recursos que se tem ao alcance e, por isso, faz sentido a criação de equipas de trabalho para o desenvolvimento e exploração do SADM, enquanto ferramenta operacional.
- 3) A expansão do conhecimento - Ainda em relação à M&S é possível concluir que só ao experimentar e manipular os modelos criados é possível determinar as soluções correspondentes aos objetivos definidos. A metodologia desta dissertação consistiu na comparação dos dados obtidos nas simulações com os resultados dos relatórios dos EWT, sendo que estes relatórios não foram elaborados com o objetivo de serem utilizados num estudo destes. Este facto tornou impossível uma comparação a nível estatístico, dado que o SADM oferece um leque muito mais variado de informação relativa às simulações, que os próprios relatórios.
- 4) A utilização do SADM - A aplicação SADM, adquirida pela MP, tem a capacidade de reproduzir inúmeros cenários, dando a possibilidade de se simular praticamente



tudo o que esteja relacionado, não só com a defesa antimísil, mas sim com a defesa aérea no geral. Assim, é possível aproveitar esta potencialidade para o desenvolvimento de técnicas e táticas de defesa aérea, bem como para o desenho e análise de exercícios e testes de sistemas. Adicionalmente, o fabricante do SADM promove um grupo de trabalho (*working group*), formado por representantes dos países possuidores da ferramenta, o que oferece uma vantagem corporativa na partilha de dados e troca de informação, o que beneficiaria a MP.

- 5) A criação equipas de trabalho aplicadas ao SADM – Devido a todas as vantagens do SADM anteriormente referidas, a criação de uma equipa de trabalho multidisciplinar que desenvolva e explore esta aplicação torna-se bastante vantajosa, uma vez que se tira o maior partido possível desta ferramenta. Para uma melhor coordenação e otimização do trabalho, o ideal seria a criação de uma (ou mais) equipa(s) juntando nesta, um representante da comunidade operacional (da classe de Marinha) com um representante da comunidade técnica (da classe de Engenheiros Navais ramo de Armas e Eletrónica). Estas duas comunidades complementam-se na sua formação, já que interagem com um mesmo sistema de perspetivas diferentes, criando assim uma relação de funcionalidade através da simbiose.
- 6) Criação de modelos constituintes das fragatas da MP - No início desta dissertação, já existiam modelos de elementos pertencentes às fragatas das classes em estudo, nomeadamente os modelos dos radares DA-08 e LW-08, dos STIRs, da RCS, entre outros. No entanto, no que concerne à modelação dos engodos antimísil em uso na MP, é de referir que não havia nenhum parâmetro modelado e neste momento existem dezasseis modelos criados relativos ao *chaff* D e aos seus modos (dez modos), ao *chaff* S (um modo) e aos *flares* IR (cinco submunições). Contudo, existem ainda parâmetros cujos valores são desconhecidos (foi, por isso, adaptado o valor defeito do SADM para esses parâmetros). Para modelar um tipo de munição *chaff* é necessário o preenchimento de vinte parâmetros, no entanto, existem cinco parâmetros dos quais não se tem informação e que, conseqüentemente, afasta o modelo da realidade. Por forma a garantir que o modelo seja tão fiel quanto possível à realidade, é necessário encontrar os valores em falta. Tratam-se de valores como o comprimento e largura da nuvem após a sua formação, a variação





da altura e distância da formação da nuvem, a sua dispersão, a taxa de queda, bem como a RCS da nuvem. Esta investigação requer informação a ser disponibilizada pelo fabricante pela direção técnica, bem como a análise minuciosa de exercícios onde tenha ocorrido o disparo deste tipo de engodos, de forma a colmatar a informação em falta.

- 7) A utilização de ferramentas como o GPS *Recorder* – A utilização deste tipo de ferramenta durante exercícios, permite uma pós-visualização através da aplicação SIMDIS, o que por si só constitui um tipo de análise. A reconstituição de exercícios através do GPS Recorder é bastante útil, uma vez que recorrendo ao SIMDIS, é possível analisar todos os movimentos efetuados pelas unidades em estudo.

## 7.2 Questão central

Em resposta à questão “Será o modelo dos engodos antimíssil, construído com recurso ao programa SADM, uma ferramenta de confiança para a MP poder utilizar? Isto é, qual o grau de confiança dos modelos, para que possam ser usados como um meio de modelação e simulação, para os fins acima propostos?” colocada no início da dissertação, é possível afirmar que o modelo dos engodos antimíssil ainda não constitui uma ferramenta de confiança para a MP. Este modelo só deverá ser de confiança após a modelação e validação de toda uma plataforma, porque um navio não é apenas constituído pelos lançadores de engodos ou pelas munições. Um navio é um todo e, consequentemente, quantos mais modelos estiverem parametrizados para uma plataforma específica, mais o referido modelo se aproxima da realidade, aumentando também o grau de confiança associado. Houve também dificuldades na modelação da ameaça constante dos EWT e, consequentemente, o modelo não foi uma réplica exata desta.

## 7.3 Hipóteses apresentadas

No que diz respeito às hipóteses apresentadas no início da dissertação conclui-se que a hipótese 2 é a mais aplicável, tendo em conta os resultados obtidos:

- Hipótese 2: Os resultados obtidos através da reconstrução de cenários e modelação dos engodos são díspares relativamente aos resultados reais,



devido a uma parametrização insuficiente, ainda que exaustiva (isto é, no momento da recolha dos dados para a elaboração dos relatórios, não foram considerados todos os parâmetros necessários ao SADM);

## 7.4 Objetivos atingidos

Face aos objetivos definidos para esta dissertação, pode dizer-se que, de um modo geral, todos foram atingidos, apesar de a níveis diferentes.

1. Recolher e reunir informação pertinente e correta, relativamente aos sistemas de defesa aérea *softkill* existentes a bordo dos navios das classes “Vasco da Gama” e “Bartolomeu Dias” (nomeadamente o lançador SRBOC MK 36 e respetivas munições) – Parcialmente atingido.
2. Recolher e reunir informação relativamente ao tipo de mísseis ameaça a utilizar para este trabalho – Parcialmente atingido.
3. Interagir com o programa SADM, por forma a conhecer as suas vantagens e desvantagens, na perspetiva do utilizador – Totalmente atingido.
4. Consultar os relatórios relativos aos NATO EWT, em que a MP participou, recolhendo os dados relevantes para a realização deste trabalho, nomeadamente as características ambientais, as características das ameaças e o modo de operação dos navios face a estas, e, em especial, o desempenho dos engodos (*chaff*) – Totalmente atingido.
5. Reconstituir os cenários ocorridos, tão fielmente quanto possível, aquando das edições dos NATO EWT em estudo para este trabalho – Totalmente atingido.
6. Confrontar os resultados obtidos através do programa de simulação SADM, com os resultados reais, descritos nos relatórios dos exercícios – Totalmente atingido.
7. Tirar conclusões relevantes sobre o confronto, dando sugestões sobre o que pode ser melhorado, e o que fazer nesse sentido – Totalmente atingido.



## 7.5 Recomendações e trabalho futuro

Tendo o subcapítulo anterior em conta, é importante referir que a exploração e a criação de modelos através do SADM consistem tarefas fundamentais para a otimização do uso desta ferramenta, e posterior desenvolvimento de técnicas e táticas de defesa aérea.

Recomenda-se, deste modo:

- i. Continuar a investir no desenvolvimento de técnicas e táticas de defesa antimíssil, bem como no treino das reações pré-planeadas face a este tipo de ameaça.
- ii. Criar equipas de trabalho para o desenvolvimento e exploração do SADM, enquanto ferramenta operacional.
- iii. Utilizar a aplicação primeiramente com o objetivo de construir os modelos totalitários das fragatas da MP, e posteriormente para o desenho e análise de exercícios, com o objetivo de desenvolvimento de doutrina.
- iv. Integrar o SADM num projeto do CINAV, para que este esteja acessível a quem quiser contribuir com estudos, investigações e dissertações, para uma evolução mais rápida e que certamente trará benefícios ao CINAV e à Marinha.
- v. Aproveitar oportunidades para o lançamento de munições *chaff* (quando, por exemplo, estiver a acabar o prazo de validade), de forma a obter os parâmetros em falta previamente referidos, através da observação da formação e dissipação da nuvem no num radar da mesma banda do míssil ameaça, efetuando o devido registo para posterior análise.



## Referências Bibliográficas

- ARMADA, E. T. (s. d.). *PEEAN 103 - Sistema de Contramedidas com Engodos*. Alfeite.
- ARMADA, E. T. (s. d.). *PEETNA 1806 - Sistema de Contramedidas com Engodos*. Alfeite.
- ARMADA, E. T. (s. d.). *PEETNA SRBOC MK 36 Mod1*. Alfeite.
- ARMADA, E. T. (s. d.). *Sebenta de Explosivos e Munições*. Alfeite.
- AWATI, K. (2007). *The drunkard's dartboard: an intuitive explanation of Monte Carlo methods*. Obtido em 27 de março de 2013, de Eight to Late: <http://eight2late.wordpress.com/2011/02/25/the-drunkard%E2%80%99s-dartboard-an-intuitive-explanation-of-monte-carlo-methods/>
- BANKS, J. (1998). *Handbook of Simulation*. Atlanta: John Wiley and Sons, Inc.
- CAMILLE, B., Patrick, C.-M., Olivier, G., Sébastien, C., Brahim, C.-d., Dale, B., et al. (junho de 2007). A Multiagent Coordination Algorithm for Weapon Assignment in Ship Self Defense. *Adapting C2 to the 21st century*.
- CHAPMAN, S. (2010). *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 1: Theory*. Edinburgh Parks: BAE SYSTEM'S.
- CHAPMAN, S. (2010). *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 2: Model Operation*. Edinburgh Parks: BAE SYSTEM'S.
- CHAPMAN, S. (2010). *Ship Air Defence Model Analysis Edition User's Guide Version 4.1.5 Volume 3: Description of Input Fields*. Edinburgh Parks: BAE SYSTEM'S.
- CHAPMAN, S. J., & Benke, K. K. (2004). Assessment of Ship Air Defence Performance by Modelling and Simulation.
- CHAPMAN, S. (s. d.). *Identification Friend or Foe (IFF)*. Obtido em 2013 de março de 18, de BAE SYSTEM'S: [http://www.baesystems.com/product/BAES\\_021673/identification-friend-or-foe-iff?\\_afrLoop=267366512244000&\\_afrWindowMode=0&\\_afrWindowId=null&baeSessionId=h3vjRHHGp3PSVvfZGX5gZRJ1gTvp6CV6V0QJtxQDQCXpP8N7yHWg!-805381173#%40%3F\\_afrWindowId%3Dnull%26baeSessionI](http://www.baesystems.com/product/BAES_021673/identification-friend-or-foe-iff?_afrLoop=267366512244000&_afrWindowMode=0&_afrWindowId=null&baeSessionId=h3vjRHHGp3PSVvfZGX5gZRJ1gTvp6CV6V0QJtxQDQCXpP8N7yHWg!-805381173#%40%3F_afrWindowId%3Dnull%26baeSessionI)
- DYKE, D. H. (2008). *Four weeks in May*. London: Atlantic Books.
- GADELHA, J. (s.d.). *A Evolução dos Computadores*. Obtido em 24 de Junho de 2013, de <http://www2.ic.uff.br/~aconci/evolucao.html>
- GRAWITZ, M. (1993). *Méthodes des Sciences Sociales*. Paris: Editions Dalloz.



- HALL, J. (2000). *Principles of Naval Weapon Systems*. Iowa: Kendall Hunt Publication Co.
- JANKE, A. (16 de março de 2013). *MATLAB*. Obtido em 2013 de março de 25, de Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- LAW, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modelling and Analysis*. New York: McGraw Hill, Inc.
- LAW, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- LAZO, J. G. (2008). Tratamento de Incertezas - Simulação de Monte Carlo.
- LOPES, J. S. (2011). Diretiva de Política Naval 2011. Lisboa.
- MENDES, A. B. (9 de Junho de 2007). Simulação de Monte Carlo. *Açoriano Oriental (Bits & Bytes)*.
- MENÚRIAS, D. M. (2012). Estudo comparativo entre os radares DA08 e LW08, utilizando o programa de modelação SADM (Ship Air Defence Model). Dissertação de Mestrado. Escola Naval, Alfeite, Portugal.
- MOORE, J. H., & Weatherford, L. R. (2001). *Decision modeling with Microsoft Excel*. New Jersey: Prentice Hall.
- MOYA, D. (5 de janeiro de 2013). *Graphical user interface*. Obtido em 14 de janeiro de 2013, de Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Graphical\\_user\\_interface](http://en.wikipedia.org/wiki/Graphical_user_interface)
- NEELAMKAVIL, F. (1987). *Computer Simulations and Modeling*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- NETO, F., & Almeida, S. (1997). *Glossário de Armamento da Armada*. Lisboa: Edições Culturais de Marinha.
- NIEMEYER, K. (2003). Modelling & Simulation in Defence. *An international journal*.
- NSA. (2005). *ATP-31 (B) - NATO Above Water Warfare Manual*. Bruxelas: NATO Standardization Agency.
- NSA. (2010). *ATP-1 (E) vol. I - Allied Maritime Tactical Instructions and Procedures*. Bruxelas: NATO Standardization Agency.
- PINA, P. (s.d.). *Evolução da Informática - Resumo*. Obtido em 24 de Junho de 2013, de Slideshare: <http://www.slideshare.net/prapina/evolucao-da-informatica-resumo>
- PRIBERAM INFORMÁTICA, S. (2012). *Transmitância*. Obtido em 25 de junho de 2013, de Priberam: <http://www.priberam.pt/dlpo/default.aspx?pal=transmit%C3%A2ncia>



- RIBEIRO, J. M. (2007). *Métodos de Investigação*. Obtido em 14 de maio de 2013, de Mestrado em Reabilitação da Arquitectura e Núcleos Urbanos: <http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jribeiro/jribeiro.pdf>
- RIBEIRO, J. T. (2007). *Métodos de Investigação*. Obtido em 2013 de junho de 16, de Mestrado em reabilitação da arquitectura e núcleos urbanos: <http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jribeiro/jribeiro.pdf>
- SILVA, L. C. (17 de Junho de 2006). Modelagem e Simulação. *Boletim Técnico 02/06*.
- SOUSA, M. J., & Baptista, C. S. (2011). *Como fazer investigação, dissertações, teses e relatórios segundo Bolonha*. Lisboa: PACTOR - Edições de Ciências Sociais e Política Contemporânea.
- WALES, J., & Sanger, L. (s.d.). *Monte Carlo method*. Obtido em 27 de março de 2013, de Wikipedia.
- WECK, P. O. (s.d.). *Modelling and Simulation*. Obtido em 15 de junho de 2013, de Go Bokee:  
[http://www.gobokee.net/get\\_book.php?u=aHR0cDovL29jdy5taXQuZWRR1L2NvdXJzZXMvZW5naW5lZXJpbmctc3lzdGVtcy1kaXZpc2lvbi9lc2QtNzctbXVsdGlkaXNjaXBsaW5hcnk3lzdGVtLWRlc2lnbi1vcHRpbWl6YXRpb24tc3ByaW5nLTIwMTAvbGVjdHVyZS1ub3Rlcy9NSVRFU0RfNzdTMTBfbGVjMDMucGRmCkVTRC43](http://www.gobokee.net/get_book.php?u=aHR0cDovL29jdy5taXQuZWRR1L2NvdXJzZXMvZW5naW5lZXJpbmctc3lzdGVtcy1kaXZpc2lvbi9lc2QtNzctbXVsdGlkaXNjaXBsaW5hcnk3lzdGVtLWRlc2lnbi1vcHRpbWl6YXRpb24tc3ByaW5nLTIwMTAvbGVjdHVyZS1ub3Rlcy9NSVRFU0RfNzdTMTBfbGVjMDMucGRmCkVTRC43)
- ZONE, 2. T. (2005). *Stavanger, Hora atual*. Obtido em 14 de julho de 2013, de 24TimeZone: [http://24timezones.com/pt\\_horario/norway\\_stavanger\\_relogio.php](http://24timezones.com/pt_horario/norway_stavanger_relogio.php)